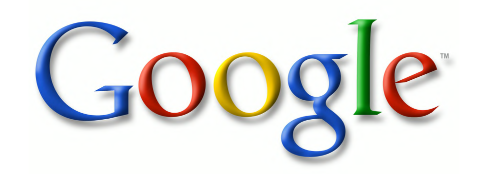
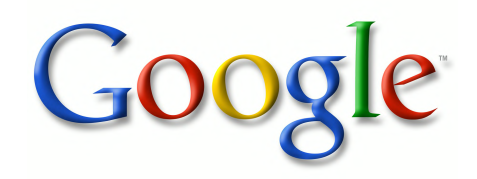
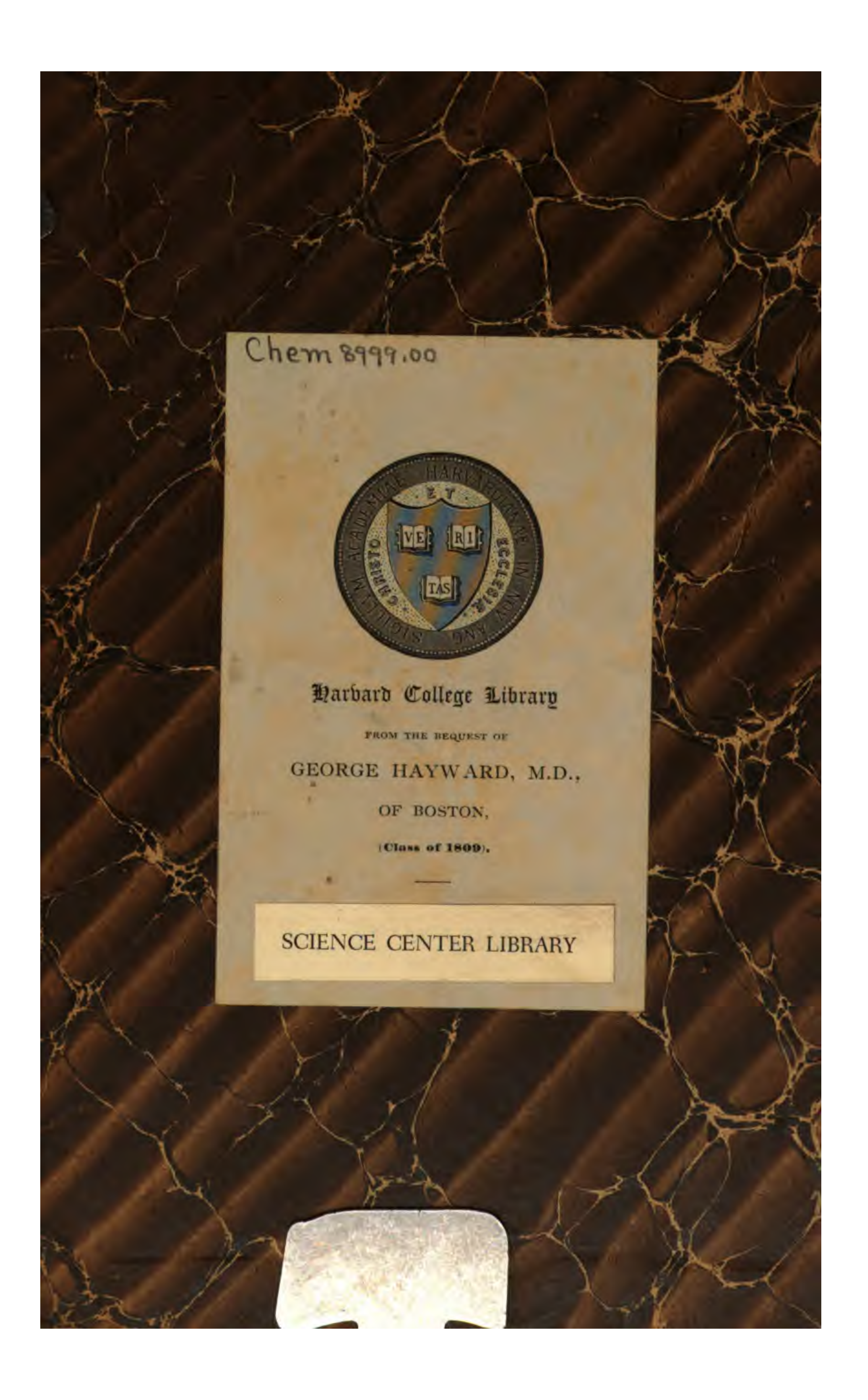
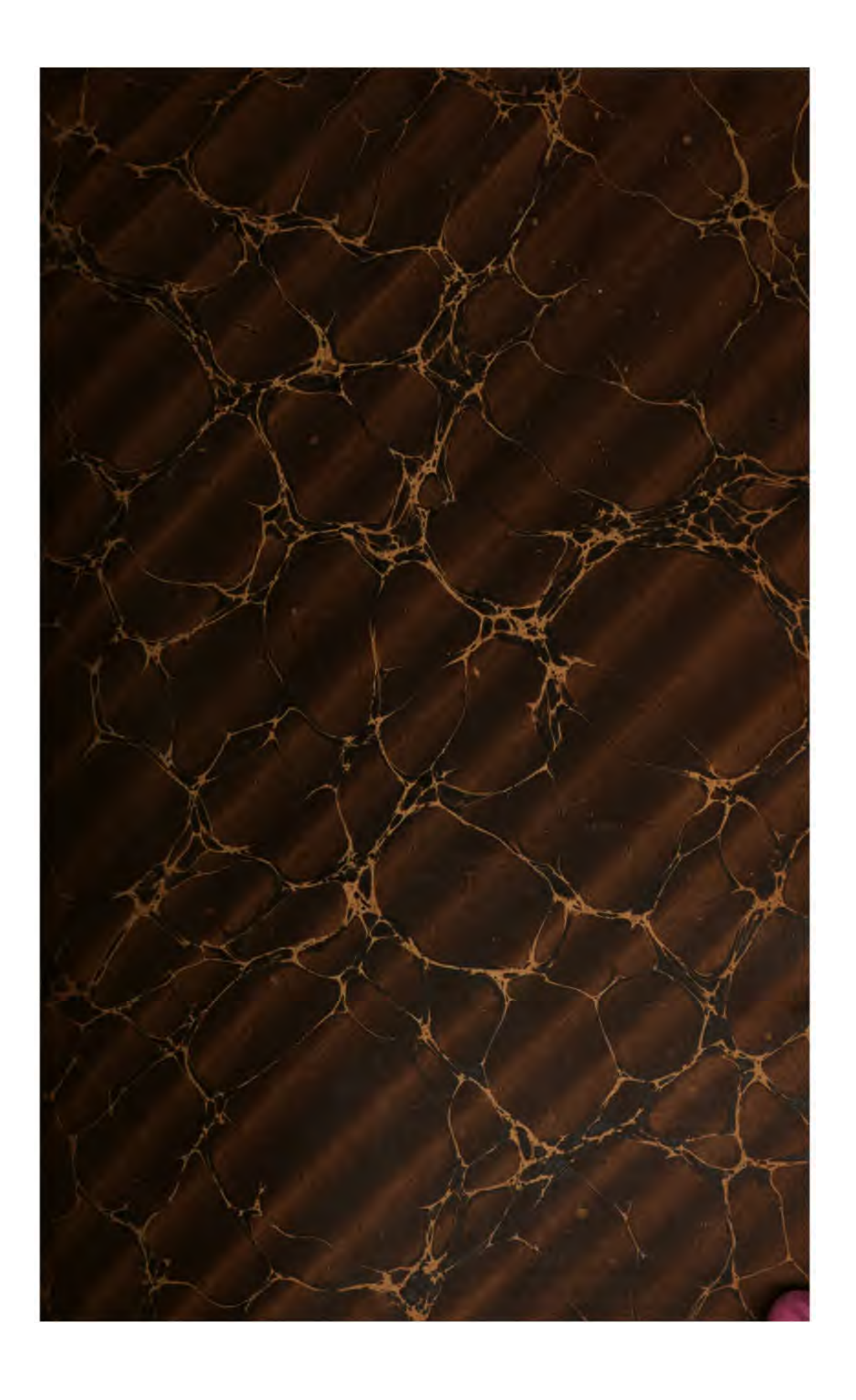







Chem 8999.00
VE
RI
TAS
Harvard College Library
FROM THE BEQUEST OF
GEORGE HAYWARD, M.D.,
OF BOSTON,
(Class of 1809).
SCIENCE CENTER LIBRARY



L'EAU

DANS

L'INDUSTRIE

PAR

H. DE LA COUX

INGÉNIEUR-CHIMISTE

EXPERT PRÈS LE CONSEIL DE PRÉFECTURE DE LA SEINE

PROFESSEUR DE CHIMIE APPLIQUÉE A L'INDUSTRIE A L'ASSOCIATION POLYTECHNIQUE

ESSAYEUR DU COMMERCE, DIPLÔMÉ DE LA MONNAIE

ETC., ETC.

COMPOSITION — INFLUENCES — DÉSORDRES — REMÈDES

EAUX RÉSIDUAIRES — ÉPURATION — ANALYSE

PARIS

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1900

L'EAU DANS L'INDUSTRIE

L'EAU

DANS

L'INDUSTRIE

PAR

H. DE LA COUX

INGÉNIEUR-CHIMISTE

EXPERT PRÈS LE CONSEIL DE PRÉFECTURE DE LA SEINE

PROFESSEUR DE CHIMIE APPLIQUÉE A L'INDUSTRIE A L'ASSOCIATION POLYTECHNIQUE

ESSAYEUR DU COMMERCE, DIPLÔMÉ DE LA MONNAIE

ETC., ETC.

COMPOSITION — INFLUENCES — DÉSORDRES — REMÈDES

EAUX RÉSIDUAIRES — ÉPURATION — ANALYSE

PARIS

Vve Ch. DUNOD, ÉDITEUR

49, Quai des Grands-Augustins, 49

—

1900

PREMIÈRE PARTIE

L'EAU

CHAPITRE I

DE L'ACTIVITÉ CHIMIQUE DE L'EAU DANS LA NATURE ET DANS L'INDUSTRIE

Entre les processus chimiques de l'eau dans la nature et les phénomènes d'activité hydrochimique dans un grand nombre d'applications industrielles, il y a souvent des points de connexité qui favorisent, par leur étude, la détermination des causes et des effets de certains phénomènes et qui, par suite, sont autant d'indications pour les remèdes à apporter.

Si l'eau présentait sa composition théorique, c'est-à-dire la combinaison d'hydrogène et d'oxygène, répondant à sa formule chimique, cela serait la suppression des désordres qui, malheureusement, se produisent si souvent dans l'industrie.

D'ores et déjà, nous pouvons dire que : l'eau distillée est un remède contre les divers accidents causés par les eaux ordinaires, qui, du reste, tiennent toujours des corps en solution, plus ou moins nuisibles aux intérêts industriels.

Ces effets nuisibles varient, non seulement suivant le travail industriel, mais encore suivant la constituante qualitative et quantitative des substances en solution dans la masse aqueuse.

L'eau, qui, dans la nature, amène des phénomènes

d'actions chimiques de corrosions et de dépôts, reproduit souvent dans l'industrie ces mêmes phénomènes, en provoquant des accidents graves, tels que des explosions de chaudières.

A peine combinée, l'eau s'empare des différents agents atmosphériques et les tient en solution ; l'acide carbonique, l'azote et l'oxygène de l'air, l'ammoniaque et les nitrites font alors partie de sa composition.

L'eau arrive donc, chargée ainsi de ces véhicules atmosphériques, sur les roches de l'écorce terrestre, où elle fait sentir son activité chimique sur les divers éléments constitutifs, et fournit l'apport de phénomènes de transformation et de dissolution.

C'est avec ces gaz, et en particulier : avec l'acide carbonique dont elle se charge encore par son passage sur l'écorce terrestre, que l'eau peut pénétrer dans les roches et exercer son influence de destruction et de dissolution, même sur celles qui sont les plus résistantes.

Cet acide carbonique terrestre provient de la décomposition des matières organiques, comme l'a démontré Boussingault, ou même d'oxydation de corps combustibles, ou, enfin, d'actions complexes acides sur des roches calcaires.

Ces corps en solution, qui exercent ces actions destructives sur les roches, sont aussi cause des corrosions produites sur les différentes pièces en fer et dans les générateurs de vapeur.

Il est aisé de comprendre que, si l'eau peut constituer des actions aussi énergiques dans la nature, elle doit être animée des mêmes actions dans l'industrie et venir à bout des corps qui paraissent le plus lui résister.

Chargée de gaz oxygène et carbonique et de matières organiques, l'eau va fournir, sur les roches, des phénomènes : de transformation des corps anhydres en corps hydratés, de dissolution des minéraux, de carbonatation et de réduction.

La dissolution, par l'eau, des minéraux déjà constitués, se

fera en vertu de leur coefficient de solubilité et de considérations spéciales afférentes à leur dissolution.

Le sulfate de calcium et le carbonate de calcium, substances nuisibles à la plupart des industries, sont contenus souvent dans les eaux, grâce à leur solubilité ; mais, pour le carbonate de calcium, la proportion varie considérablement à la faveur de l'acide carbonique.

Le carbonate de calcium est en effet soluble dans l'eau tenant de l'acide carbonique en solution; il se forme un bicarbonate calcique; il en est de même pour le carbonate de magnésium, qui est encore bien plus soluble par l'acide carbonique.

Si l'eau garde en solution le carbonate de calcium et le carbonate de magnésium ; à la faveur de l'excès d'acide carbonique, cette eau, qui a une facilité d'absorption pour cet acide, peut aussi, dans bien des circonstances, l'abandonner.

Dans la nature, cet abandon de l'acide carbonique se produit, soit par son action sur d'autres roches, soit par le travail d'animaux marins, et le terme final est le dépôt du carbonate de chaux.

Les applications industrielles nous montrent que l'abandon de l'acide carbonique par l'ébullition de l'eau amène des dépôts nuisibles de carbonate de calcium formant des incrustations, et que des transformations, gênantes dans le savonnage, se produisent par la fixation du métal alcalino-terreux par l'acide gras du savon employé, pour donner une combinaison calcaire insoluble et dispendieuse.

En teinture, la formation des laques avec des eaux chargées de carbonate calcique fournit encore un exemple de cet abandon de l'acide carbonique et de l'isolement du carbonate de calcium, qui, en cette circonstance, est l'agent provocateur de l'entraînement de la matière colorante.

Nous venons de montrer quelques effets connexes de ces eaux, la cause de ces effets dans la nature, puis dans l'industrie ; la déduction nous apporte les remèdes.

On ne devra pas, par conséquent, employer d'eaux contenant une trop grande quantité de sels calcaires, si l'on veut éviter des désordres regrettables dans les usines et dans les fabrications, ou bien on fera usage d'eau naturelle calcaire, après leur avoir fait subir une correction.

Cette correction préalable se fera par abandon de l'acide carbonique, en portant l'eau à l'ébullition dans un récipient spécial, ou par fixation préalable de cet acide carbonique dans un bassin contenant un lait de chaux ou un autre produit chimique agissant semblablement.

Des abandons analogues au carbonate de calcium se produisent avec le fer en solution dans l'eau, comme dans les eaux minérales. M. Riban l'a montré, du reste, dans une étude savante présentée à l'Académie des Sciences. Ceci peut s'appliquer à des précipitations du fer qui viennent par suite troubler certaines opérations industrielles.

Le sulfate de calcium provoque des dépôts, par suite de transformations moléculaires et aussi par considération de son coefficient de solubilité.

Ces dépôts sont gênants, étant données leur dureté et leur adhérence.

Avec le sulfate de calcium, il se forme souvent, par les corps en présence, des combinaisons calciques nuisibles aux intérêts industriels.

Dans la nature, le sulfate de calcium se forme par saturation de l'acide sulfurique provenant des roches pyriteuses, par les calcaires qui se trouvent dans leur voisinage.

A la faveur de l'oxygène de l'air en dissolution dans l'eau, les pyrites sont l'objet d'une oxydation qui se traduit par des transformations superficielles pénétrant de plus en plus dans la masse minérale.

On obtient : des sulfates de fer à différents états, il y a formation : d'un sulfate basique de fer qui se précipite sur la roche même, et de sulfate ferrique normal, qui entre en solution dans l'eau.

L'acide sulfurique mis en liberté dans cette réaction se

fait sentir sur les roches calcaires, alumineuses, magnésiennes, pour se combiner aux éléments métalliques et alcalino-terreux et donner naissance aux sulfates.

Ces sulfates peuvent, dans la nature, trouver matière à réduction; il en est de même dans l'industrie où, par l'emploi de ces eaux, des actions réductrices sont susceptibles de se produire.

Dans les chaudières, les phénomènes de réduction des sels ferriques sont provoqués au détriment des parois en fer des générateurs, et ceci se passe aussi bien pour le sulfate de fer au maximum que pour le sulfate d'aluminium.

Par la réduction des sulfates avec les matières organiques, on obtient des sulfures; cette transformation a lieu dans la nature; elle se retrouve dans les applications industrielles, où elle fait preuve d'actions analogues.

Quant aux chlorures, le chlorure de sodium en particulier est dissous rapidement par l'eau, qui passe sur les différentes couches de sel gemme.

Il est à remarquer que si ces roches n'étaient pas préservées par des couches imperméables d'argile, elles seraient vite entraînées par les eaux.

Le chlorure de sodium se diffuse facilement dans les roches qui, au contact de l'eau, laissent le sel en solution; certaines eaux de source empruntent leur nature saline aux infiltrations dues aux eaux marines.

Le chlorure de sodium peut agir sur les roches avoisinantes, dont l'attaque est souvent facilitée par la présence de la silice.

Ainsi il se fait une chloruration des divers éléments des roches, et, finalement, l'eau renferme dans son sein des chlorures de sodium, de potassium, de magnésium, de calcium, etc.

Ces chlorures sont aussi la cause de désordres et d'inconvénients provoqués dans l'industrie, nous le verrons à propos du tannage des peaux, par exemple; et dans d'autres circonstances, nous constaterons des phénomènes de corro-

sions métalliques favorisés par des dissociations des chlorures.

Par contre, l'eau distillée n'est pas toujours préférable, pour certaines industries, à des eaux qui tiennent des corps déterminés en solution.

Dans l'application particulière des couleurs d'alizarine, en teinture, par exemple, une eau calcaire est avantageuse.

En brasserie, pour la pratique du brassage, la fabrication est améliorée par l'emploi d'une eau gypseuse.

Enfin nous verrons, dans le cours de cet ouvrage, que des phénomènes d'activité chimique dans la nature, qui sont la résultante d'actions microbiennes, se poursuivent dans l'industrie en provoquant souvent des désordres graves.

C'est ainsi qu'interviennent : certains phénomènes de corrosions du fer par le concours des ferments nitreux et nitriques, et des troubles dans des industries reposant sur les fermentations.

CHAPITRE II

COMPOSITION DES EAUX. — ORIGINE DES CORPS QU'ELLES RENFERMENT

D'une façon générale, l'eau est impure.

L'eau pure, c'est-à-dire : l'eau qui, par sa composition, répond à la formule théorique H^2O, ou combinaison de 2 volumes d'hydrogène et de 1 volume d'oxygène, sans renfermer d'autres corps, en plus ou moins grande proportion, ne se rencontre pas dans la nature.

Le type de l'eau pure est : l'eau distillée, obtenue à la suite d'une opération industrielle par la condensation de la vapeur d'eau; cette opération, bien que simple, exige certaines précautions.

Toutes les eaux contiennent des corps étrangers, tels que : l'azote, l'acide carbonique, des azotites, des azotates, sulfates, chlorures, carbonates, et des sels de potassium, sodium, calcium, magnésium, fer, silicium, aluminium, dont leur nature, leur groupement et leur proportion permettent de différencier les eaux et de reconnaître leur provenance.

De même, la provenance des eaux peut fixer sur leur composition.

Nous classerons les eaux :

1° Eaux météoriques ;

2° Eaux ordinaires : eaux de forage et de source; eaux courantes;

3° Eaux de mer;

4° Eaux de mine;

5° Eaux minérales;

6° Eau distillée.

Au point de vue industriel, il est important de connaître la composition des eaux et l'origine des corps qu'elles renferment suivant leur nature ; car, dans bien des cas, les inconvénients qu'elles doivent provoquer seront prévus, et les remèdes pourront être appliqués méthodiquement.

§ 1. — EAUX MÉTÉORIQUES

Les eaux du globe sont le siège d'une évaporation continuelle, qui rend l'air plus ou moins humide; l'air renferme donc de la vapeur d'eau, mais en proportion extrêmement variable dépendant d'un certain état de l'atmosphère, ou état hygrométrique.

Cet état hygrométrique est lui-même fonction de la pression de la vapeur d'eau atmosphérique et de la température.

L'air ne peut donc contenir qu'une quantité d'humidité ou de vapeur d'eau bien déterminée pour une certaine température et pression ; l'humidité de l'air a donc une limite, et, lorsqu'elle est atteinte, on dit que cet air est saturé.

A partir de ce moment, le surplus se condense et retombe en eau pour subir de nouveau les phénomènes d'évaporation, qui se font sentir avec d'autant plus de vigueur que l'air est plus sec et le vent plus fort. Le résultat de cette évaporation est la formation du brouillard et des nuages, et aussitôt que l'air est à un état inférieur à son point de saturation, on les voit apparaître.

La condensation de la vapeur se produit pour les nuages, soit par le refroidissement de l'air, soit par le mélange de masses d'air froides apportées par les vents avec de l'air chaud chargé d'humidité.

En dehors de ces causes, la condensation de la vapeur d'eau de l'atmosphère se produit encore par le voisinage des montagnes, qui, par leur basse température, refroidissent les couches d'air humide qui les sillonnent.

Si les nuages ne se trouvent pas soutenus par des courants ascendants ou en présence d'air plus sec, il y a condensation et formation de la pluie.

Quand la température de l'air est inférieure à 0°, au lieu de pluie, il tombe généralement une masse cristalline, la neige ; au fur et à mesure que la température s'abaisse, la quantité de neige qui tombe diminue de plus en plus.

Vers — 20°, la neige tombe encore ; dans ces conditions, elle est favorisée par le vent, mais elle est très tenue ; au dessous de — 20°, la neige est rare.

Le verglas se forme par la pluie tombant à une température voisine de 0° sur un sol plus froid.

L'eau cristallise dans le système rhomboédrique ; la neige est composée d'un certain nombre de petits cristaux formant généralement une étoile à six branches ; au centre de cette étoile se trouve parfois un petit cristal brillant de forme hexagonale.

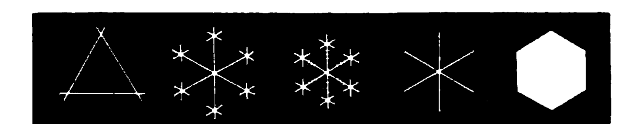


Fig. 1. — Cristaux de neige.

La densité de la neige peut être considérée comme étant de 0,10 pour la neige fraîche ; des résultats trouvés par certains auteurs varient du simple ou double ; ils s'expliquent par l'état de la neige au moment des déterminations.

Quelle que soit la nature des météores aqueux, pluie ou neige, bien que constituant les eaux les plus pures, ils renferment des gaz de provenance atmosphérique, grâce au pouvoir dissolvant de l'eau, et la proportion des gaz en solution est fonction de la composition de l'air et des variations atmosphériques, c'est-à-dire de la pression, de la température et des saisons.

Parmi les gaz en solution dans l'eau de pluie, on rencontre de l'oxygène, de l'azote et de l'acide carbonique.

En dehors de ces corps gazeux, les eaux météoriques renferment des sels, comme : les composés ammoniacaux ; carbonate, azotate et chlorure d'ammonium, du chlorure de sodium, dont la proportion est très appréciable au bord de la mer, du sulfate de sodium et des sels de calcium.

Dans le voisinage de la mer, les eaux météoriques contiennent encore des iodures et des bromures.

Enfin les matières organiques, qui se trouvent continuellement dans l'air, sont entraînées dans l'eau de pluie, et comme les composés ammoniacaux, elles sont généralement en plus grande proportion près des centres d'agglomération, comme les grandes villes.

D'après les recherches de M. Chatin, on peut conclure que :

1° Lorsque le vent souffle de la mer, les chlorures sont en plus grande proportion à Paris dans les eaux provenant des pluies que dans l'eau de Seine ; dans les eaux pluviales, au voisinage de la mer, les chlorures y sont en abondance ;

2° Les eaux de pluie de la France centrale et de Paris renferment des sulfates en quantité notable, et généralement en proportion plus forte que les eaux de rivières ; le plus souvent, les eaux de pluie sont moins chargées de chlorures que les eaux de rivières ;

3° Dans les eaux pluviales, les sels de calcium et de sodium y sont en proportion très appréciable ;

4° Dans les eaux pluviales, on remarque une matière organique azotée, qui peut être considérée comme un mélange d'ulmate d'ammoniaque et d'acide ulmique. Cette matière organique se trouve en abondance dans les régions inférieures de l'atmosphère, et l'eau de pluie en renferme jusqu'à $0^{gr},05$ par litre.

	Eau recueillie à l'Observatoire de Paris		
	Terrasse	Cour	
Azote	6^{gr} 397	7^{gr} 939	par mètre cube.
Ammoniaque	3 334	2 769	—
Acide nitrique	14 069	21 800	—
Chlore	2 801	1 946	—
Chaux	6 220	5 397	—
Magnésie	2 100	2 300	—

Les analyses des eaux pluviales recueillies à l'Observatoire de Paris ont donné à M. Barral $0^{gr},0228$ de résidu par litre.

Les matières organiques rendent la conservation de ces eaux extrêmement difficile, par suite de certains phénomènes de transformation qui s'opèrent à leur détriment. Ces eaux peuvent alors devenir impropres aux usages domestiques et troubler même les résultats industriels : c'est ce qui arrive souvent aux eaux de pluie recueillies, sans précaution, dans des citernes mal entretenues ; ces eaux sont susceptibles de s'emparer de germes morbides et ne peuvent, en conséquence, être utilisées dans l'alimentation.

En général, l'eau de pluie est l'eau naturelle la plus pure ; aussi aura-t-on avantage à la substituer à des eaux qui, par leur emploi, auraient nui à des opérations industrielles.

En photographie, dans la préparation de la plupart des bains, on se sert souvent d'eau de pluie à la place d'eau distillée.

§ 2. — EAUX ORDINAIRES

a) **Eaux de forage et eaux de source.** — A la faveur de la porosité, des fentes et des fissures des roches de l'écorce terrestre, les météores aqueux, en tombant, pénètrent dans le sol.

Ces eaux, chargées de gaz acide carbonique et d'oxygène, exercent une action énergique sur les constituantes des roches ; elles les détruisent, les transforment, les amènent en solution et arrivent ainsi à bout des roches les plus dures.

En vertu du principe, par lequel les eaux cherchent à atteindre le niveau le plus bas, elles continuent leur route dans la profondeur terrestre en se chargeant de plus en plus de gaz carbonique, grâce à un foyer propice d'alimentation qu'elles rencontrent : les matières organiques.

L'eau ainsi fortifiée par ce nouvel apport de gaz carbonique, les phénomènes d'activité chimique se font sentir avec plus de vigueur.

Par suite des phénomènes d'oxydation, de carbonatation et de dissolution par l'excès d'acide carbonique, les eaux perdent de plus en plus de leurs gaz, et en particulier de l'acide carbonique, qui dissout avec la plus grande facilité les roches calcaires.

Les eaux s'arrêtent dans leur action de pénétration des différents étages géologiques, lorsqu'elles se trouvent en présence d'une couche imperméable et forment alors des nappes d'eaux souterraines.

L'alimentation des sources et des puits se fait par ces nappes d'eau, qui atteignent parfois des étendues considérables et forment de véritables lacs et rivières intérieures.

Une source est donc formée par un cours d'eau souterrain qui sort de terre; par la détermination de l'inclinaison des assises géologiques, on peut établir la direction de cette source.

Les nappes d'eau sont donc maintenues souterrainement par une couche imperméable.

En forant un trou dans la terre jusqu'à la nappe d'eau, on obtient un puits.

Si l'endroit où est foré le trou est à un niveau beaucoup plus bas que celui de l'extrémité supérieure de la couche aquifère, en vertu du principe des vases communiquants, l'eau ainsi comprimée cherche à atteindre le point le plus haut; elle jaillit en déterminant un puits artésien.

Dans le forage des puits à travers les terrains stratifiés, on rencontre souvent plusieurs nappes aquifères : c'est ainsi que M. Flachat, dans le forage du puits de la gare de Saint-Ouen, en a rencontré cinq, à 36 mètres, à 45, à 51, à 59, et à 66 mètres de profondeur.

Ces puits artésiens peuvent atteindre de grandes profon-

deurs et de forts débits; ainsi :

	Profondeur	Débit par minute
Puits de Grenelle..............	548 mètres	800 litres
Puits de Tours.................	140 —	1.100 —
Puits de Bages près Perpignan..	»	2.000 —
Puits de la gare de Saint-Ouen .	66 —	»

Au fur et à mesure qu'on s'enfonce dans le sol, la température augmente; on a constaté qu'elle augmentait de 1° par 25 mètres; mais cette température est indépendante de l'air extérieur.

En jaillissant de puits profonds, les eaux ont une température supérieure à celles que possèdent les endroits où elles surgissent.

A Paris, la température moyenne à la surface du sol est de 10°,6, tandis que la température du puits de Grenelle est de 27°, et celle du puits de Saint-Ouen est de 12°,9.

Les eaux de puits sont, en général, d'autant plus pures qu'elles viennent de plus grandes profondeurs. On le constate très bien d'après la proportion de matières fixes qu'on y trouve; ainsi à Saint-Ouen, dans l'eau du puits de la gare, M. O. Henry a trouvé 0gr,734 de matières fixes à 49 mètres de profondeur et seulement 0gr,267 à 65 mètres.

Suivant l'étendue du parcours effectué par les eaux et la nature des terrains traversés, la composition des eaux de source est variable; il est à remarquer que les eaux qui viennent des terrains granitiques sont plus pures que celles qui émergent des terrains secondaires; ces dernières sont plus ou moins calcaires.

Souvent les eaux de puits ordinaires renferment une assez forte proportion de carbonate et de sulfate de calcium, qui les rendent impropres aux usages industriels et domestiques.

Dans les puits peu profonds, il se dégage souvent une forte odeur d'hydrogène sulfuré; elle est due à la formation de sulfure par le sulfate de calcium, qui, en présence des matières organiques de l'eau, subissent une action réductrice.

On a d'abord :

$$SO^4Ca + 2C = 2CO^2 + CaS,$$

puis :

$$CaS + 2H^2O = Ca(OH)^2 + H^2S.$$

Les réactions précédentes montrent, d'abord cette réduction, en désignant par la lettre C les matières organiques; puis la décomposition du sulfure formé en hydrogène sulfuré, car le sulfure de calcium est un corps très instable.

Lorsque ces matières organiques sont azotées, elles peuvent subir, sous l'influence de certains ferments, des transformations en composés de l'azote, tels que : des azotites, des azotates, de l'ammoniaque.

Dans les eaux de puits artésiens, on rencontre : des sels de potassium, il en est de même des eaux provenant des terrains granitiques et feldspathiques; quant aux eaux de rivières, elles en renferment des quantités tout à fait minimes.

b) **Eaux courantes.** — Après avoir formé les nappes souterraines et être sortie de la terre sous forme de sources, l'eau n'a pas encore terminé son parcours; elle continue son chemin à la surface de la terre, qu'elle creuse de plus en plus, en emportant mécaniquement les matériaux qui la composent.

Les ruisseaux, qui ont alors pris naissance, se réunissent pour former les rivières et les fleuves qui en résultent, se jettent dans la mer avec les matériaux entraînés sur leur passage.

Dans le travail d'activité chimique des eaux souterraines, des corps sont entrés en solution, et finalement, à la source, l'eau en contient des proportions excessivement variables, qui diminuent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source.

Si les eaux ne traversent que des roches granitiques et

continuent leur parcours sur des terrains siliceux, la quantité des matières dissoutes dans l'eau sera faible, et, pendant son trajet, elle abandonnera une partie des sels qu'elle tient en solution.

Il se produit donc des phénomènes d'échange ; l'eau, après avoir arraché à l'intérieur de la terre des éléments qu'elle a dissous soit directement, soit après leur avoir fait subir certaines transformations, abandonne à sa surface une partie des corps qu'elle renferme.

L'acide carbonique, qui, par sa présence dans l'eau, permet d'effectuer la dissolution facile des roches calcaires et d'augmenter la solubilité de certaines matières salines, se dégage ; par suite de cet abandon, ce calcaire et ces matières salines ne peuvent rester en solution et se déposent.

En dehors des eaux de source, qui forment les ruisseaux, les eaux météoriques contribuent considérablement à augmenter l'action dissolvante de l'eau qui coule à la surface de la terre.

Ces météores aqueux sont chargés d'acide carbonique, qui vient renforcer celui qui restait dans l'eau ; il résulte un élan de l'action dissolvante de l'eau sur les roches qu'elle traverse et conserve alors des sels en solution.

Malgré cela, il s'ensuit un appauvrissement en matières minérales dissoutes ; on constate une bien plus grande quantité de matières minérales en solution dans les ruisseaux, près de la source, que dans l'eau de rivière ; de même, l'eau de rivières est bien plus riche en substances minérales que celle des fleuves.

Le carbonate de calcium est un des sels dont la diminution se fait le plus rapidement ; mais, cependant, les eaux courantes en contiennent toujours : c'est, du reste, beaucoup à cette cause qu'elles doivent leur goût particulier.

La proportion de carbonate de calcium contenue va en décroissant de la source à la mer. Ainsi, les eaux de rivière renferment plus de carbonate de calcium que celles des fleuves, et celles des ruisseaux plus que celles des rivières.

Au fur et à mesure que, dans son trajet, l'eau abandonne son gaz carbonique, son action dissolvante s'affaiblit; elle s'exerce alors sur les roches, facilement solubles, composées de sels alcalins.

En s'éloignant des sources vers la mer, les eaux se chargent de plus en plus des sels de potassium et de sodium, en particulier : le chlorure de sodium.

Les eaux de source renferment beaucoup d'acide carbonique, mais peu d'oxygène; par contre, les eaux de rivière sont plus aérées.

Si les eaux de source sont claires, il n'en est pas de même des eaux de rivières, car elles reçoivent les météores aqueux qui, sur leur passage, entraînent des matières organiques et siliceuses : de l'argile, du sable et de la terre végétale.

Ces matières restent en suspension dans l'eau et provoquent des troubles qui sont généralement plus prononcés après les grandes crues.

Au Service hydrométrique du bassin de la Seine, on apprécie le degré de transparence de la façon suivante :

On immerge, dans l'eau à essayer, un objet blanc de 1 décimètre carré, de telle façon qu'il soit vu sous une couche aqueuse de 30 centimètres d'épaisseur.

Si cet objet est visible distinctement, l'eau est claire.

Si cet objet se distingue d'une manière confuse, l'eau est considérée comme louche.

Enfin si l'objet devient invisible, l'eau est notée comme trouble.

Les matières en suspension dans l'eau se déposent avec d'autant plus de facilité que la pente est douce, c'est-à-dire que le courant est moins fort.

Ce dépôt constitue le limon, et les matières organiques qui le compose sont associées aux corps siliceux, à des sels de calcium, à de l'alumine et de l'oxyde de fer.

Après trois années d'expériences poursuivies par M. Hervé Mangon, l'eau de Seine à Port-à-l'Anglais a fourni une moyenne de 39^{gr},660 de limon par mètre cube; le maxi-

mum du poids de limon a été de 626^{gr},12 par mètre cube et le minimum de 1^{gr},350.

L'essai a fourni pour la composition du limon en matières minérales :

Carbonate de chaux..........	9,84 0/0 à 29,68 0/0
Peroxyde de fer et d'alumine.	3,88 0/0 à 16,52 0/0

L'eau, observée par la méthode du Service hydrométrique, notée claire, correspond à moins de 10 grammes de limon par mètre cube.

D'une rivière à l'autre, la proportion de limon varie considérablement : la Durance, à Merundol, contient en moyenne 1.454 grammes de limon par mètre cube d'eau, et le Var, à la Gaude, 3.577 grammes.

Les matières en suspension dans l'eau étant de nature et en proportion extrêmement variable, les limons avaient par suite les compositions les plus différentes.

Nous n'insisterons pas sur la formation des nitrites et de l'ammoniaque ; ce dernier corps se combine, en particulier, avec de l'acide carbonique pour donner du carbonate d'ammonium.

On rencontre aussi des sulfures par réduction des sulfates en présence des matières organiques.

Il est à remarquer que, si les nitrates se trouvent dans les eaux de rivière, l'eau de la mer n'en contient pas, lorsqu'on la prend à quelque distance du rivage.

Eaux séléniteuses et eaux calcaires. — Suivant la nature des terrains traversés par les eaux de source, de forage ou courantes, ces eaux contiennent plus ou moins de sels de calcium en solution.

Les eaux sont dites : séléniteuses, lorsqu'elles tiennent une forte proportion de sulfate de calcium, plus de 0^{gr},20 de sulfate de calcium par litre.

Ce sulfate de calcium est entré en solution dans l'eau par son action dissolvante, exercée par son passage sur les ter-

rains gypseux, dont l'abondance explique sa rencontre fréquente dans les eaux.

La Seine, à certains endroits, est très séléniteuse; ainsi, dans la région gypsifère comprise entre Meulan et Château-Thierry, où beaucoup de sources jaillissent; au delà, la Seine renferme à peine 0gr,01 de sulfate de calcium par litre.

Plus une eau contient de sulfate de calcium, plus elle est nuisible aux différents usages industriels et domestiques.

Les eaux de puits sont souvent séléniteuses, comme dans la région du bassin de Paris, où les puits ont été creusés dans le gypse.

A l'air, les eaux séléniteuses n'abandonnent pas leur sulfate de calcium, et l'emploi de ces eaux demande une correction spéciale.

Le carbonate de calcium, que l'on rencontre dans les eaux, provient de la dissolution des roches calcaires par l'acide carbonique de l'eau; cette action dissolvante se produit avec d'autant plus de facilité que le carbonate de calcium se présente sous une forme moins cristallisée.

Non seulement l'eau dissout les roches calcaires ou cristallisées, comme l'aragonite, mais encore les roches composées de carbonates complexes, comme la dolomie ou carbonate de calcium et de magnésium.

Si l'eau tient en solution plus de 0gr,5 de carbonate de calcium par litre, on dit qu'elle est calcaire.

L'abandon facile de l'acide carbonique en excès et, par suite, la précipitation du carbonate de calcium, empêche les eaux calcaires d'être employées dans beaucoup d'industries.

Dans presque toutes les applications industrielles, les sels de chaux constituent les éléments nuisibles; aussi doit-on chercher les moyens de s'en préserver le plus possible.

Nous examinerons, dans les chapitres spéciaux, l'influence de ces eaux dans l'industrie et les remèdes à apporter.

§ 3. — EAUX DE MER

L'eau de mer a une composition extrêmement variable, et les résultats d'analyse diffèrent suivant que l'échantillon est prélevé au bord ou au large, au fond ou à la surface, dans une région ou dans une autre.

Un grand nombre de corps se trouvent dans l'eau de mer : des chlorures, des sulfates, des bromures et des iodures, etc.; mais le sel dominant est : le chlorure de sodium.

Pour 1 litre d'eau de mer, il y a toujours une quantité de chlore qui n'est pas inférieure à 200 grammes.

Ce chlore est combiné aux métaux alcalins : potassium et sodium, et aux alcalino-terreux : magnésium et calcium.

Le chlorure de magnésium joue un rôle important dans les corrosions provoquées par l'eau de mer.

La salure de la mer est l'ensemble des sels qu'elle contient, et elle est évaluée par leur poids total; elle est généralement de 35 à 36 grammes de matières par litre, le chlorure de sodium y entre pour 30 grammes environ, et les sels de magnésium, à qui l'eau de la mer doit en grande partie sa saveur, forment la 1/6 partie environ du poids total des matières salines.

Son degré de salure est extrêmement variable, dans les régions chaudes, près de l'Equateur; il est plus grand que dans les régions froides.

La température des mers est différente; elle est moins élevée en profondeur qu'à la surface.

Pour la Méditerranée, la température moyenne de l'année à la surface est à peu près la même que celle de l'air.

Suivant les saisons, la température de la mer est cependant variable; ainsi la température moyenne en été et au printemps est inférieure à celle de l'air; mais, au contraire, en automne et en hiver, la température moyenne de la Méditerranée est supérieure à celle de l'air.

Le sulfate de calcium, corps contenu dans les eaux douces,

se retrouve dans la mer ; il en est de même pour le carbonate de calcium.

L'apport considérable des eaux tenant du carbonate de calcium ne tarderait pas à saturer l'eau de la mer de carbonate de calcium, si des animaux marins, tels que les coraux, les mollusques, les foraminifères et les échinodermes ne s'en emparaient pas.

Il résulte, des observations de J. Davy, que le carbonate calcique se rencontre particulièrement dans le voisinage des pôles.

La grande salure de la mer et la diversité des sels qui y sont contenus donnent lieu, par l'emploi de cette eau dans l'industrie, à des réactions complexes des plus nuisibles dans la pratique.

Il sera impossible de faire usage de ces eaux dans les applications industrielles, à moins de les dépouiller de la majeure partie de leurs sels et d'éliminer convenablement certains d'entre eux, qui sont particulièrement préjudiciables.

Nous examinerons plus loin l'influence de l'eau de mer dans les différents cas et les traitements qu'on peut lui faire subir.

§ 4. — EAUX DE MINE

Les eaux de mine proviennent d'infiltrations qui se produisent à travers les différentes couches de terrain.

Par ces infiltrations et le passage plus ou moins lent de l'eau, il s'effectue une espèce de lixiviation des roches, qui amène la dissolution de leurs principes minéraux.

De ce fait, la composition sera extrêmement variable ; mais elle aura toujours une relation intime avec les roches environnantes.

On est exposé à rencontrer, dans ces eaux, des sels de calcium : carbonate, sulfate et chlorure ; des sulfates de fer, de baryum, de sodium et de potassium, des sulfates métalliques divers et du carbonate de fer, etc.

Les eaux qui traversent des régions pyriteuses se chargent de sulfates, à la suite de certaines transformations.

Dans la région ardoisière d'Angers, M. Lechatelier a constaté que ces eaux ne contenaient pas du tout d'acide sulfurique libre.

A la suite de phénomènes particuliers d'oxydation, qui se produisent dans l'intérieur de la terre sur les roches, les pyrites ou sulfures sont transformés par l'oxygène en sulfate de fer :

$$2FeS + 2H^2O + 9O = 2So^4H^2 + Fe^2O^3.$$

Cette oxydation des pyrites, se produisant au contact de l'eau chargée d'air, il se forme ultérieurement du sulfate basique de fer, qui précipite, sur les roches environnantes, du sulfate ferrique normal et de l'acide sulfurique libre, que l'eau entraîne en solution :

$$6FeS + 2H^2O + 27O = (Fe^2O^3)^2SO^3 + Fe^2(SO^4)^3 + 2SO^4H^2.$$

L'acide sulfurique, produit dans la réaction précédente, va exercer son attaque sur les roches voisines, et en particulier, sur les roches calcaires, pour former du sulfate de calcium, ce qui explique la présence de ce dernier corps dans les eaux de mine:

$$So^4H^2 + Co^3Ca = So^4Ca + Co^2 + H^2O.$$

En dehors du sulfate ferrique normal, on peut trouver en solution, des sulfates: d'alumine, de cuivre, etc.

A force d'exercer leur action dissolvante, les eaux de mine finissent par se saturer de matières minérales et à les abandonner ensuite sur le sol.

Les eaux de mine sont nuisibles dans les industries ; leur emploi nécessite de grandes précautions et des corrections, que nous examinerons dans les paragraphes spéciaux, si l'on veut éviter de graves désordres.

§ 5. — EAUX MINÉRALES

Par eaux minérales, on désigne des eaux qui, à la source, ont le plus souvent une température élevée, possèdent une odeur variable et renferment certains principes fixes ou volatils en solution, en proportion plus ou moins grande, qui leur donne des vertus médicinales.

Les eaux minérales peuvent, d'après leur constitution chimique, se diviser en cinq classes :

1° Eaux minérales chlorurées;

2° Eaux minérales bicarbonatées;

3° Eaux minérales sulfureuses;

4° Eaux minérales ferrugineuses ;

5° Eaux minérales sulfatées.

Nous ne pouvons nous étendre ici sur ce sujet, qui sort de celui que nous nous sommes proposés d'examiner.

§ 6. — EAU DISTILLÉE

Quelle que soit l'origine de l'eau dans la nature, elle renferme toujours des matières en solution ou en suspension.

Dans l'eau de pluie, comme nous l'avons vu, qui est l'eau naturelle la plus pure, se trouvent : de l'air, des composés oxygénés et hydrogénés, de l'azote et différents sels.

Certaines eaux de la surface du globe tiennent des matières en solution, en telle proportion qu'elles sont inutilisables dans la pratique industrielle et, *a fortiori*, dans les préparations délicates et précises qu'exigent : la photographie, la pharmacie et les laboratoires de chimie.

On peut éliminer de l'eau, toutes les matières étrangères en solution, sans introduire dans la masse aqueuse d'autres substances, en procédant par vaporisation et condensation de la vapeur, qui fournit alors de l'eau distillée, véhicule des préparations délicates.

La distillation se fait au moyen d'un appareil connu sous le nom d'alambic, qui se compose d'une chaudière et d'un

chapiteau qui la surmonte ; ce chapiteau est terminé par un serpentin, espèce de tube roulé sur lui-même plongeant dans un courant d'eau froide.

Pour distiller, on introduit l'eau dans la chaudière ; on allume le feu, et, au moyen d'eau froide venant de la ville, on refroidit le serpentin.

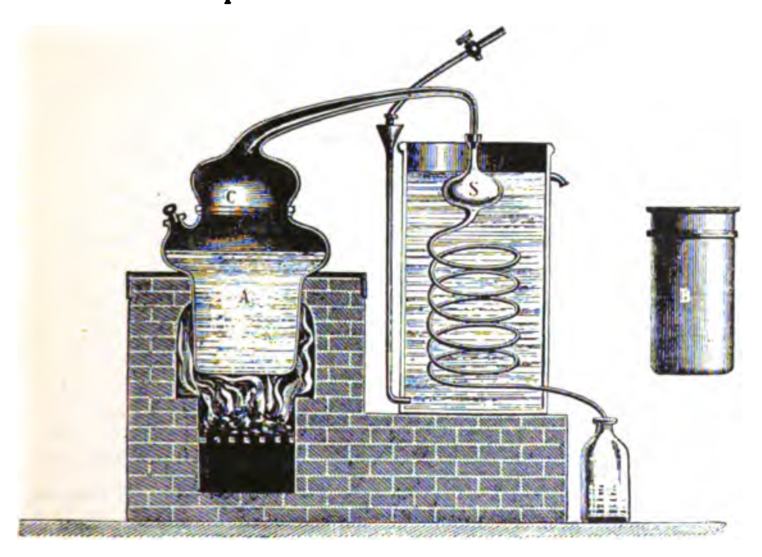


Fig. 2. — Alambic.

Au bout de quelques instants, la vapeur d'eau produite monte dans le chapiteau, où elle se débarrasse des matières étrangères qui pourraient être entraînées mécaniquement.

Ensuite, elle passe dans le serpentin où, sous l'influence du refroidissement, elle se condense pour donner de l'eau distillée qu'on recueille dans des récipients propres.

Bien qu'opération facile, la distillation demande quelques précautions, pour obtenir l'eau dans les conditions de pureté voulue.

Tout d'abord, on doit faire un essai de la première portion de l'eau qui a distillé et ne commencer à la recueillir qu'à partir du moment où elle n'accuse plus la présence d'aucune matière étrangère.

Comme l'eau soumise à la distillation peut renfermer des corps volatils : acide carbonique et ammoniaque, ce qui a lieu surtout dans les eaux qui traversent les agglomérations des villes, comme celles de la Seine et du Rhône ; ces corps gazeux passent à la distillation, et les premières portions de l'eau distillée accusent leur présence ; aussi, dans la pratique, devra-t-on rejeter ces premières parties du distillatum.

A cause de l'instabilité des sels ammoniacaux et du chlorure de magnésium, on s'expose à trouver, en distillant de l'eau qui en contient, de l'ammoniaque et de l'acide chlorhydrique, corps provenant de leur dissociation.

Une des premières précautions à prendre est de ne pas pousser jusqu'au bout la distillation et de ne recueillir seulement, comme eau distillée, que les 3/4 du volume primitif ; en un mot, c'est de rejeter les dernières portions du liquide à distiller.

Certains praticiens remédient à ces inconvénients en ajoutant, dans la cucurbite, à l'eau, avant de commencer à distiller, des substances ayant pour but de rendre moins instables ces divers composés.

Dans le cas d'une eau ammoniacale, ils fixent cet ammoniaque en ajoutant, au préalable, du phosphate de magnésie, et si l'eau contient de l'acide carbonique, ils se servent d'un lait de chaux pour fixer cet acide.

Bien souvent, l'eau distillée des laboratoires accuse une acidité par l'acide chlorhydrique due à la dissociation du chlorure de magnésium ; il est bon de rendre l'eau un peu alcaline par de la soude ou de la potasse, afin d'obtenir des chlorures doubles de magnésium et de métal alcalin, corps beaucoup plus stables que les chlorures simples.

Des matières organiques peuvent aussi passer à la distillation ; c'est pourquoi il est très important de faire un nettoyage complet de l'alambic avant de procéder à une distillation, surtout lorsqu'on a distillé auparavant des matières empyreumatiques.

Si l'eau renferme des matières organiques, on arrête l'opération aux 3/4 du produit à distiller; on peut ajouter encore dans la cucurbite du permanganate de potasse.

L'eau distillée, obtenue en tenant compte des observations que nous avons faites, suffit généralement dans la pratique; cependant, si, pour une opération particulière, on veut obtenir une eau d'une extrême pureté, on opérera de la façon suivante :

La distillation sera faite en ajoutant à l'eau du permanganate de potassium très alcalin, et le liquide obtenu sera redistillé avec une addition de sulfate d'alumine.

Ainsi traitée, l'eau distillée ne renferme aucune trace d'ammoniaque, de chlorure, de matières organiques. Souvent, dans l'industrie, on se sert, non pas d'eau distillée fabriquée spécialement, mais de l'eau obtenue par la condensation des vapeurs provenant des générateurs destinés à l'alimentation des machines de l'usine.

Cette eau, qui est aussi le produit d'une distillation, est soumise à des entraînements que nous avons signalés à propos de l'eau distillée proprement dite, c'est-à-dire que, dans cette eau, peut se retrouver de l'acide chlorhydrique et de l'ammoniaque.

Il importe de remarquer que les générateurs sont souvent l'objet d'introduction de produits destinés à remédier aux dépôts calcaires.

Ces produits, dont on ignore bien souvent la composition, lorsqu'ils sont achetés chez un fabricant, donnent lieu à diverses décompositions en corps, qui passent dans la vapeur condensée, si bien que l'eau obtenue est souvent impropre aux usages industriels.

Les entraînements de matières grasses sont aussi fréquents; ils proviennent des graisses et des huiles, qui se rendent accidentellement dans les générateurs ou qui sont expulsés des organes lubrifiés de la machine, cylindre, tiroir, etc.; les graisses et huiles d'origine végétale et animale, c'est-à-dire à acide gras saponifiable, sont particulière-

ment nuisibles à l'eau obtenue par condensation; aussi importe-t-il d'examiner attentivement l'eau avant de s'en servir.

On pourrait cependant éliminer les matières grasses ou saponifiables en fixant leurs acides gras au moyen d'un lait de chaux.

Pour l'alimentation à bord des navires, on a recours à la distillation de l'eau de mer.

Autrefois on emportait des provisions d'eau potable pour trois mois environ, ce qui venait augmenter considérablement les charges du navire.

Aujourd'hui, en dehors d'une provision d'eau potable restreinte que les navires peuvent transporter, ils sont munis d'appareils spéciaux, en vue de fabriquer de l'eau distillée.

Généralement l'obtention de l'eau à bord consiste à condenser, par un dispositif spécial, la vapeur, provenant des générateurs, servant aux machines.

En 1868, l'appareil distillateur Perroy fut rendu réglementaire dans la Marine de guerre; la vapeur des générateurs pénètre dans une série de tubes contenus dans une caisse métallique renfermant de l'eau froide ; la vapeur se condense, et l'on recueille de l'eau distillée dans des récipients spéciaux.

On sait que, pour qu'une eau soit potable, il est important qu'elle soit bien aérée; pour arriver à ce résultat, l'eau, en passant dans l'appareil, pénètre dans une espèce d'injecteur semblable au Giffard, qui a pour but d'y introduire de l'air.

Quelquefois les appareils de distillation à bord des navires sont formés par un alambic, dont la chaudière est alimentée en calorique par la vapeur d'eau perdue des échappements de la machine, et l'eau qu'on soumet à la distillation dans l'alambic est tout simplement l'eau de mer.

On évite ainsi, d'une façon certaine, les entraînements de matières grasses ; mais la cucurbite doit être soumise à un régime d'extractions, fréquentes, des matières salines.

CHAPITRE III

SOLUBILITÉ DE CERTAINS CORPS DANS L'EAU AU POINT DE VUE INDUSTRIEL. — INFLUENCE SUR L'ÉBULLITION DE L'EAU

§ 1. — SOLUBILITÉ DE CERTAINS CORPS DANS L'EAU AU POINT DE VUE INDUSTRIEL

L'analyse montre que toutes les eaux renferment des corps en solution, en plus ou moins grande proportion.

En faisant bouillir de l'eau, il se dégage des gaz que l'on peut reconnaître. Parmi ces gaz, se trouvent : de l'oxygène, de l'azote et de l'acide carbonique.

Ces gaz sont absorbés différemment par l'eau, et l'on constate que l'air en solution dans l'eau est, en général, plus riche en oxygène que celui qui se trouve dans l'atmosphère.

Cette particularité tient à la variation d'absorption qui existe entre les gaz, en un mot à leur coefficient de solubilité ; l'oxygène est en effet beaucoup plus soluble que l'azote dans l'eau, ou, autrement dit, le coefficient de solubilité du gaz oxygène dans l'eau est plus grand que celui de l'azote.

Si nous considérons les résultats trouvés par Péligot, nous voyons qu'en analysant 1 litre d'une eau douce il a trouvé 23 centimètres cubes de gaz, composé de :

Azote....................	68
Oxygène..................	32
Acide carbonique.........	2,4

Les lois de dissolution des gaz ont été énoncées par Henry et Dalton.

La première loi ne peut être appliquée que pour les gaz et les liquides n'exerçant pas d'action chimique l'un sur l'autre.

1° A une température déterminée, un liquide dissout toujours une même portion de son volume d'un gaz, quelle que soit la pression extérieure du gaz, le volume dissous étant rapporté à cette pression ;

2° Lorsque plusieurs gaz se trouvent mélangés, chacun d'eux est absorbé comme s'il était seul.

D'après les expériences refaites par Bunsen, il résulte que les coefficients d'absorption varient avec la plupart des gaz pour chaque température ; l'hydrogène a un coefficient de solubilité qui ne change pas aux différentes températures.

Si l'on appelle k le coefficient de solubilité d'un gaz, c'est-à-dire le volume de ce gaz dissous par 1 litre d'eau sous la pression atmosphérique, si l'on désigne par t la température correspondante, on a les relations suivantes, trouvées par Bunsen pour les gaz :

Azote............	$K = 0{,}020346 - 0{,}00053887t + 0{,}0000111 56t^2$
Oxygène..........	$K = 0{,}04115 - 0{,}0011907t + 0{,}000022577t^2$
Acide carbonique..	$K = 1{,}7967 - 0{,}07761t + 0{,}0016724t^2$
Hydrogène........	$K = 0{,}0193$

Il résulte encore des expériences de Bunsen que la loi de Dalton n'est applicable qu'en présence des faibles pressions.

D'après les chiffres du tableau suivant, calculés par Bunsen et Carius, nous voyons que le coefficient de solubilité d'un gaz diminue en même temps que la température de l'eau augmente.

TEMPÉRATURE	OXYGÈNE	AZOTE	AIR	ACIDE carbonique	HYDROGÈNE	AMMONIAQUE
0........	0,04114	0,02035	0,02471	1,7967		1049,6
1........	0,04007	0,01981	0,02406	1,7207		1020,8
2........	0,03907	0,01932	0,02345	1,6481		993,3
3........	0,03810	0,01884	0,02287	1,5787		967,0
4........	0,03717	0,01838	0,02237	1,5126		941,9
5........	0,03628	0,01794	0,02179	1,4497		917,9
6........	0,03544	0,01752	0,02128	1,3901		895,0
7........	0,03465	0,01713	0,02080	1,3339		873,1
8........	0,03389	0,01675	0,02034	1,2809		852,1
9........	0,03317	0,01640	0,01992	1,2311		832,0
10........	0,03250	0,01607	0,01953	1,1847	0,01930	812,8
11........	0,03189	0,01577	0,01916	1,1416		794,3
12........	0,03133	0,01549	0,01882	1,1018		776,3
13........	0,03082	0,01523	0,01851	1,0653		759,6
14........	0,03034	0,01500	0,01822	1,0321		743,1
15........	0,02989	0,01478	0,01795	1,0020		727,2
16........	0,02949	0,01458	0,01771	1,9753		711,8
17........	0,02914	0,01441	0,01750	0,9519		696,9
18........	0,02884	0,01426	0,01732	0,9319		682,3
19........	0,02858	0,01413	0,01717	0,9150		668,0
20........	0,02838	0,1403	0,01704	0,9014		654,0

La question de la solubilité des sels a son importance sur l'influence des eaux dans l'industrie.

Certains sels, comme les carbonates de calcium, de magnésium, le sulfate de calcium et le chlorure de magnésium, qui sont de fréquence dans les eaux et qui exercent des actions particulières, demandent à être étudiés au point de vue de leur dissolution.

Si l'on considère la solubilité de certains corps solides, susceptibles de former des combinaisons avec l'eau, en traçant la courbe représentative de la solubilité de ces sels, en prenant pour abscisses les températures et pour ordonnées le poids du sel dissous par kilogramme de liquide, on obtient une courbe, qui est concave du côté des ordonnées positives.

En faisant la recherche de la solubilité des sels à des températures où les hydrates ne peuvent plus exister, il résulte des observations de M. Étard que la ligne de solubilité du sel est représentée par une droite, et son coefficient

de solubilité est une fonction linéaire de la température, qui croît avec cette température.

Cette fonction est de la forme :

$$K = a + bt,$$

K désignant le coefficient de solubilité.

D'après Gay-Lussac, le coefficient de solubilité des corps solides est, à une température déterminée, le poids du corps dissous dans 100 grammes du dissolvant, lorsque la solution est saturée à la température considérée.

Cette définition, bien que défectueuse, est encore en usage. Il serait plus rationnel d'adopter la définition de M. Étard, par laquelle le coefficient de solubilité d'un corps solide dans un liquide, à une température déterminée, est le poids de ce solide dissous (poids évalué en grammes) dans 100 grammes de la dissolution saturée à cette température.

Ce coefficient de solubilité est alors variable suivant la température, et presque toujours il augmente avec la température et proportionnellement à ses variations.

La dissolution des corps est accompagnée de certains changements d'état extérieur; ainsi, un corps solide, qui se dissout dans l'eau, passe à l'état liquide en absorbant une certaine quantité de chaleur et, par conséquent, produit un abaissement de température de la dissolution.

Il peut se produire le contraire, lorsque le corps à dissoudre exerce une action chimique sur le liquide dissolvant, et dans ce cas il y a élévation de température.

On peut dire que la dissolution est régie par les lois suivantes :

1° La quantité d'un corps susceptible de se dissoudre dans un liquide est bien déterminée, et cette quantité reste invariable pour une même température ;

2° Un liquide, saturé pour la dissolution d'un corps, peut en dissoudre un autre;

3° La solubilité d'un corps augmente avec la température.

Cette troisième loi n'est pas formelle, et elle a de nombreuses exceptions.

Carbonate de calcium. — Le carbonate de calcium se dissout avec une extrême facilité dans l'eau chargée d'acide carbonique; une dissolution saturée d'acide carbonique peut dissoudre $0^{gr},70$ de carbonate de chaux par litre à $0°$ et, à $10°$, $0^{gr},88$; cette solubilité augmente avec la température.

On considère généralement qu'il se forme, avec l'acide carbonique de l'eau et le carbonate neutre, du bicarbonate de chaux ou du carbonate acide, corps extrêmement soluble ; Bineau admet la solubilité du carbonate de calcium en présence de l'acide carbonique, comme l'effet d'une simple dissolution.

Si l'on fait bouillir une eau contenant du carbonate de calcium en solution, tout le carbonate neutre de calcium ne précipite pas, et nous verrons qu'au point de vue analytique MM. Boutron et Boudet s'en sont préoccupé dans la détermination de leur méthode hydroimétrique et qu'ils font subir une correction aux résultats d'expériences.

M. Hofmann a trouvé qu'il reste $0^{gr},034$ de carbonate de calcium en solution par litre d'eau, et M. Cruse, $0^{gr},036$; ce carbonate de chaux, qui reste ainsi, n'est pas précipité par l'eau de chaux, ce qui prouve que ce carbonate de chaux est bien neutre et non dissous par l'acide carbonique.

Il est à remarquer que, dans la solubilité de l'acide carbonique dans l'eau, l'acide carbonique se dissout beaucoup plus dans une eau contenant du carbonate de calcium que dans une eau pure.

Carbonate de magnésium. — Le carbonate de magnésium se dissout plus facilement encore, à la faveur de l'acide carbonique, que le carbonate de calcium.

D'après les expériences de M. Merkel, il résulte que la solubilité du carbonate de magnésium dans l'eau varie avec

celle de l'acide carbonique dans l'eau, suivant la température et non avec la pression.

En faisant varier la pression d'une eau chargée d'acide carbonique, il a obtenu les résultats suivants :

Une partie de Co^3Mg se dissout :

A 1 atmosphère	dans	761	parties d'eau chargée de Co^2
2	—	744	—
3	—	134	—
4	—	110,7	—
5	—	110	—
6	—	76	—

Les expériences de MM. Engel et J. Ville ont montré que la température avait une grande influence sur la solubilité du carbonate de magnésium, dans l'eau chargée d'acide carbonique.

La détermination de la solubilité du carbonate neutre de magnésium, sous différentes pressions, a fourni les résultats suivants :

Pression en atmosphères	Température	Carbonate de magnésium dissous par litre d'eau grammes
1,0	19°5	25,8
2,2	19°5	33,1
3,2	17°7	37,3
4,7	19°0	43,5
5,6	19°2	46,2
6,2	19°2	48,5
7,5	19°5	51,2
9,0	18,7	56,6

A 13°,4 et sous la pression ordinaire, l'eau chargée de gaz carbonique dissoudrait 28gr,45 de carbonate neutre de magnésium par litre, et, à 90°, la proportion de carbonate de magnésium dissous n'est plus que de 2gr,4.

Sulfate de calcium. — La solubilité du sulfate de calcium dans l'eau a suscité de nombreuses expériences de la part de MM. Poggiale, Marignac et Lecoq de Boisbaudran; mais leurs résultats ne sont pas toujours d'accord entre eux.

Selon M. Lecoq de Boisbaudran, on devrait : admettre qu'il faut 500 grammes d'eau à 12°,5 pour dissoudre 1 gramme de sulfate de chaux anhydre, et trouver que, d'une façon générale, ses résultats sont trop faibles et ceux de M. Marignac trop forts; les résultats exacts, d'après lui, seraient donc compris entre ceux de M. Marignac et les siens.

D'après les expériences de M. Poggiale, il résulterait que le maximum de solubilité du sulfate de chaux anhydre serait à 35° et qu'à 100° la solubilité serait presque la même qu'à 5°.

La ligne de solubilité du sulfate de calcium serait semblable à celle du sulfate de sodium tracée par Gay-Lussac, et la courbe serait formée de 2 lignes présentant un point de rebroussement à 35°, comme pour le sulfate de sodium; mais le point de rebroussement du sulfate de calcium est graphiquement moins accentué.

Solubilité du sulfate de chaux

Température	Solubilité du sulfate de chaux anhydre grammes
0°	0,205
5°	0,219
12°	0,233
20°	0,241
30°	0,249
35° Maximum	0,254
40°	0,252
50°	0,251
60°	0,248
70°	0,244
80°	0,239
90°	0,231
100°	0,217

M. Marignac prétend que la solubilité du sulfate de chaux à 20°, trouvée par M. Poggiale, est en contradiction avec celle trouvée par tous les autres expérimentateurs ; il pense, d'une façon générale, que ses résultats sont trop forts, et qu'il a dû être induit en erreur par des phénomènes de sursaturation qui n'étaient pas connus, comme maintenant, au moment où il a fait ses déterminations.

Comme M. Poggiale, ses résultats lui ont fourni un maximum de solubilité entre 30° et 40°.

Pour 1 partie de sulfate de chaux anhydre, il faudrait à :

0°	525 parties d'eau
18°	488 —
24°	479 —
32°	470 —
38°	466 —
41°	468 —
53°	474 —
72°	495 —
86°	528 —
99°	571 —

Lorsqu'on porte de l'eau à l'ébullition contenant du sulfate de calcium en solution à une température élevée, on constate qu'à 140° il se dépose des petits cristaux de sulfate de calcium, de formule $2So^4Ca + H^2O$, qui sont très durs ; nous verrons en temps opportun le rôle important que ce sulfate de calcium joue dans les générateurs de vapeur.

La solubilité du sulfate de calcium est sensiblement influencée par d'autres sels; ainsi les chlorures et les nitrates alcalins, et le chlorure de magnésium, augmentent la solubilité du sulfate de calcium, et cette solubilité est d'autant plus grande que la concentration du liquide est plus grande.

De tous les chlorures, le chlorure d'ammonium est celui qui augmente le plus la solubilité; les nitrates exercent une action dissolvante plus grande que celle des chlorures, et les sulfates n'augmentent pas la solubilité du sulfate de calcium.

D'après les expériences de M. Haver-Brœze, pour dissoudre 1 gramme de gypse, il faut :

162	centimètres cubes	d'une solution saturée de	KCl à 8°
147	—	—	$NaCl$ à 8°5
93	—	—	AzH^4Cl à 12°5
94	—	—	AzO^3K à 13°5
92	—	—	AzO^3Na à 8°5
320	—	—	AzO^3AzH^4 à 8°5
54	—	—	AzO^3AzH^4 à 13°5

La glycérine augmente aussi beaucoup la solubilité du sulfate de calcium. M. Asselin a constaté que la glycérine dissolvait, à froid, 1 0/0 de sulfate de calcium.

D'après Church, la solubilité du sulfate de calcium serait, au contraire, diminuée par la présence de l'acide carbonique; le chlorure de sodium diminuerait aussi la solubilité du sulfate de calcium.

Chaux. — Nous croyons devoir envisager la solubilité de la chaux, car ce corps est d'un usage fréquent dans l'épuration des eaux, et, souvent, il est le résidu de différentes opérations résultant de l'emploi des eaux.

Dalton a reconnu que la chaux était beaucoup moins soluble dans l'eau chaude que dans l'eau froide, et que la solubilité de la chaux était 2 fois plus grande à 0° qu'à 100°, tandis qu'au contraire les sulfates de calcium et de sodium sont bien moins solubles à 0° qu'à 100°.

Pour la solubilité de la chaux, Dalton donna les nombres suivants:

Température	Chaux anhydre dissoute dans 100 parties d'eau
15°6	$\frac{100}{778} = 0,1285$
54°4	$\frac{100}{972}$
100°	$\frac{1\iota 0}{270} = 0,0787$

Les expériences postérieures de Richard Phillips donnèrent des nombres analogues, et Phillips attribua la diminution de solubilité de la chaux, par l'élévation de température, à un surcroît d'agrégation moléculaire que la chaux reçoit par l'action de la chaleur.

Dans ses recherches sur les jus sucrés, Lamy s'occupa de la solubilité de la chaux et reconnut qu'une foule de circonstances influaient sur sa solubilité.

Il fallait tenir compte de la nature de la chaux, de son mode de préparation, de son degré de cuisson, de son état

d'agrégation moléculaire, de la température à laquelle le lait de chaux était porté, de la filtration du lait de chaux, pour avoir une solution limpide, de la récalcination de l'hydrate de chaux et enfin du contact de l'eau avec la chaux.

Toutes ces considérations ont fait l'objet des conditions pour l'exécution des expériences entreprises par M. Lamy sur la chaux, obtenue : 1° avec le carbonate de calcium précipité ; 2° avec le carbonate de chaux du marbre ; 3° avec l'hydrate de chaux.

Il a trouvé que 100 parties de solution renferment en chaux anhydre :

	CaO du Co^3Ca précipité partie	Chaux du marbre partie	Chaux de l'hydrate partie
0°	1,362	1,381	1,430
10°	1,311	1,342	1,384
15°	1,277	1,299	1,348
30°	1,142	1,162	1,195
45°	0,996	1,005	1,035
60°	0,884	0,868	0,885
100°	0,562	0,576	0,584

A 60°, l'hydrate calcique qui cristallise a pour formule $Ca(OH)^2$, comme celui qu'on obtient par cristallisation à basse température.

Dans la préparation du réactif à la chaux, dans l'épuration industrielle des eaux, on considère la solubilité de la chaux comme étant généralement de $1^{gr},25$ à $1^{gr},30$ par litre.

Chlorure de calcium. — Le chlorure de calcium est un des sels les plus solubles dans l'eau ; il se dissout en proportion considérable, avec un grand abaissement de température, qu'on utilise dans la confection des mélanges réfrigérants.

La propriété hygroscopique du chlorure de calcium le fait utiliser dans les laboratoires comme desséchant ; il suffit, pour dissoudre ce sel, de 25 0/0 d'eau seulement.

Contrairement au sel cristallisé, la dissolution du chlorure de calcium anhydre dans l'eau amène une élévation de température.

M. Hammerl a déterminé le degré de solubilité du chlorure de calcium entre — 22° et + 29°,53, et ses observations ont montré que 100 parties de solution saturée renfermaient :

Température	$CaCl^2$ parties	Température	$CaCl^2$ parties
— 22°	32,24	19°,35	42,50
0°	36,91	24°,47	45,33
+ 7°,39	38,77	27°,71	46,30
13°,86	41,03	29°,53	50,67

Le chlorure de calcium cristallisé a pour formule $CaCl^2 + 6H^2O$ et a la forme de prismes hexagonaux terminés par des pyramides ; en les desséchant dans le vide, on obtient un hydrate de formule $CaCl^2 + 2H^2O$.

Par fusion et solidification successives de l'hydrate $CaCl^2 + 6H^2O$, Hammerl a obtenu un hydrate de formule $CaCl^2 + 4H^2O$.

Chlorure de magnésium. — Le chlorure de magnésium est un sel déliquescent et, par conséquent, très soluble dans l'eau ; en effet, elle en dissout 130 0/0 à froid et 366 0/0 à l'ébullition.

Lorsqu'on se trouve en présence de chlorures alcalins, il donne facilement naissance à des chlorures doubles, chlorure sodico-magnésien, chlorure potassico-magnésien, chlorure ammoniaco-magnésien.

Ces chlorures doubles sont beaucoup plus stables que le chlorure simple de magnésium. A Stassfurt, on trouve un chlorure double, le chlorure double de magnésium et de calcium, qui forme la tachydrite en masses arrondies et déliquescentes de formule $2MgCl^2CaCl^2 + 12H^2O$.

Le chlorure double de magnésium et d'ammonium forme des cristaux orthorhombiques $MgCl^2.AzH^4Cl + 6H^2O$; son isomorphe est la carnalite de Stassfurt, ayant pour formule $MgCl^2.KCl$; mais le sel double sodique cristallise seulement avec $2H^2O$, et l'on a $MgCl^2NaCl + 2H^2O$.

Si le chlorure de magnésium se trouve en présence

de carbonate de magnésium en solution dans l'eau, il se produit de l'oxychlorure de magnésium, de formule $MgCl^2 + 10MgO + 18H^2O$, qui cristallise en aiguilles microscopiques.

En prenant la chaleur de dissolution du chlorure de magnésium anhydre, $MgCl^2$, J. Thomsen a trouvé qu'elle était égale à + 35.900 calories et, pour le chlorure de magnésium hydraté, $MgCl^2 + 6H^2O$, de + 2.950 calories; pour une molécule d'eau absorbée par le chlorure de magnésium anhydre, il y a un dégagement d'environ + 5.495 calories.

Ce sel, le chlorure de magnésium, se trouve dans l'eau de mer en grande proportion, et variable suivant la provenance de l'eau : ainsi les eaux de la Méditerranée en renferment beaucoup plus que celles de l'Océan.

On constate même cette particularité par le goût accentué d'amertume, que présente le sel extrait des marais salants de la Méditerranée, qui ne se retrouve pas dans le sel provenant de l'Océan.

Par concentration d'une solution de chlorure de magnésium, on obtient des aiguilles incolores ou des cristaux orthorhombiques très déliquescents, qui ont pour formule $MgCl^2 + 6H^2O$.

En chauffant ces aiguilles de chlorure de magnésium hydraté à 106°, il y a dissociation en acide chlorhydrique et fusion à 119° :

$$MgCl^2 + H^2O = MgO + 2HCl.$$

Pelouze avait préconisé la fabrication de l'acide chlorhydrique par simple calcination du chlorure de magnésium.

La dissociation du chlorure de magnésium en acide chlorhydrique produit des effets nuisibles dans la pratique industrielle, et les corrosions des générateurs en sont un exemple marquant.

Les eaux qui tiennent du chlorure de magnésium en solution provoquent des corrosions, plus ou moins grandes, suivant les quantités de ce sel.

Nous avons pu constater aussi ce fait avec les eaux de la Méditerranée, qui provoquent une activité corrosive du fer plus énergique que l'eau de l'océan.

Il est important de noter que le chlorure de magnésium peut être fourni, par voie de double décomposition, si le sulfate de magnésium se trouve en présence d'autres chlorures dans l'eau.

Chlorure de sodium. — A cause de la forte proportion de chlorure de sodium dans l'eau de mer, la solubilité de ce sel est des plus importantes ; aussi se sert on de ces considérations dans l'emploi de l'eau de mer à bord des navires.

Les générateurs qui sont alimentés à l'eau de mer demandent des précautions spéciales, afin d'éviter des accumulations de résidus salins, qui deviendraient vite des plus compromettants pour le bon fonctionnement des appareils et machines ; c'est pourquoi on fait subir un régime spécial, appelé régime des extractions, que nous examinerons plus loin.

La solubilité du chlorure de sodium varie très peu d'une température à une autre.

Gay-Lussac a trouvé qu'une partie de sel se dissout dans :

	Parties		
Eau.................	2,78	à	14°
Eau.................	2,70	à	60°
Eau.................	2,48	à	109°,7

En faisant la digestion à froid, MM. Page et Keightley ont trouvé qu'à 15° 100 parties de dissolution renfermaient 26,34 parties de sel, et, en faisant la dissolution à chaud, puis laissant refroidir à 15°, la quantité de sel contenue était de 26,61 parties.

M. Fuchs prétend que le chlorure de sodium est également soluble dans l'eau froide et dans l'eau chaude, quelle que soit la température : 100 parties d'eau dissoudraient 37 par-

ties de chlorure de sodium. Quant aux résultats trouvés par Gay-Lussac, ils seraient erronés, par suite des conditions défectueuses de ses expériences, dans lesquelles il se serait débarrassé incomplètement du chlorure de magnésium.

Plus tard, M. Poggiale a repris les expériences sur la solubilité du chlorure de sodium, en tenant compte des observations de M. Fuchs, en opérant sur du chlorure de sodium complètement exempt de chlorure de calcium et de chlorure de magnésium ; ses observations ont montré que ses résultats se rapprochaient de ceux de Gay-Lussac et que les critiques de M. Fuchs n'étaient pas exactes.

Gay-Lussac a trouvé, en effet, que 100 parties d'eau dissolvent :

	Parties		
Chlorure de sodium......	35,81	à	13°,89
—	35,88	à	16°,90
—	35,14	à	59°,93
—	40,38	à	109°,73

Les observations de Gay-Lussac lui donnèrent une solubilité plus grande à 0° qu'à 13°,89.

Poggiale a trouvé, pour la solubilité du chlorure de sodium anhydre, pour cent :

Température	Solubilité du chlorure de sodium anhydre pour cent	Température	Solubilité du chlorure de sodium anhydre pour cent
— 15°............	32,73	40°.............	36,64
— 10°............	33,49	50°..............	36,98
— 5°............	34,22	60°..............	37,25
0°............	35,52	70°..............	37,88
+ 5°............	35,63	80°..............	38,22
+ 9°............	35,74	90°..............	38,87
+ 14°............	35,87	100°..............	39,61
+ 25°............	36,13	109°,7............	40,35

La solution saturée de sel renferme 26,4 0/0 de sel et a pour densité 1,2043.

A 15°, les densités des solutions correspondantes aux quantités pour cent de chlorure de sodium sont :

Sel 0/0	Densité du chlorure de sodium à 15°	Sel 0/0	Densité du chlorure de sodium à 15°
1	1,0072	14	1,1038
2	1,0145	15	1,1115
3	1,0217	16	1,1194
4	1,0290	17	1,1270
5	1,0362	18	1,1352
6	1,0436	19	1,1431
7	1,0511	20	1,1511
8	1,0585	21	1,1593
9	1,0659	22	1,1675
10	1.0733	23	1,1758
11	1,0810	24	1,1840
12	1,0886	25	1,1923
13	1,0962	26	1,2010
		26,4	1,2043 (saturation)

A propos de l'emploi de l'eau de mer, on fera usage de cette table pour suivre le régime des extractions, dont l'application est basée sur les densités des solutions salines.

§ 2. — INFLUENCES SUR L'ÉBULLITION DE L'EAU

Lorsqu'on porte un liquide, à la température correspondante à celle qui est nécessaire pour obtenir des vapeurs ayant une tension égale à celle qu'il supporte, le liquide entre en ébullition ; il se produit alors, au sein même du liquide, des bulles de vapeur qui viennent crever à la surface.

Toute transformation d'un liquide en vapeur est une vaporisation, et l'évaporation est caractérisée par la formation des vapeurs à la surface.

Les phénomènes de l'ébullition sont soumis à des lois.

1° Pendant toute la durée de l'ébullition d'un liquide, la température reste constante, et cette température est le point d'ébullition;

2° La température d'ébullition d'un liquide correspond à celle qu'il faut produire pour que le liquide émette des vapeurs ayant une pression égale à celle qui s'exerce sur sa surface ;

3° La transformation d'un liquide en vapeur est accompagnée d'une certaine absorption de chaleur.

En considérant la deuxième loi, on voit le rôle important

que joue la pression qui s'exerce à la surface d'un liquide, sur son point d'ébullition.

Si la pression exercée à sa surface augmente, le point d'ébullition du liquide est retardé, d'autant plus que la pression supportée est plus forte.

La marmite de Papin, qui est formée d'un cylindre métallique, fermé par un couvercle à vis, est munie d'une soupape à levier, permet de porter l'eau aux températures les plus élevées, sans la faire entrer en ébullition.

En ouvrant la soupape, la vapeur sort, avec une pression considérable utilisée dans la production de la force dans la machine à vapeur.

La propriété dissolvante de l'eau est notablement augmentée, lorsqu'on la maintient, liquide, à des températures supérieures à 100°.

D'Arcet, avec un autoclave, qui n'est autre qu'une modification de la marmite Papin, parvint à transformer l'osséine des os en gélatine.

Nous donnons ci-après la température de la vapeur d'eau pour des tensions de 1 à 50 atmosphères.

FORCE élastique en atmosphères	PRESSIONS en kilogr. sur 1cm. carré	TEMPÉRATURE correspondante	FORCE élastique en atmosphères	PRESSIONS en kilogr. sur 1cm carré	TEMPÉRATURE correspondante
1........	1,033	100	13.......	13,429	193,7
1 1/2....	1,549	112,2	14.......	14,462	197,19
2........	2,066	121,4	15.......	15,495	200,48
2 1/2.....	2,582	128,8	16.......	16,528	203,60
3........	3,099	135,1	17.......	17,561	206,57
3 1/2.....	3,615	140,6	18.......	18,594	209,4
4........	4,132	145,4	19.......	19,627	212,1
4 1/2.....	4,648	149,06	20.......	20,660	214,7
5........	5,165	153,08	21..... ..	21,693	217,2
5 1/2.....	5,681	156,8	22.......	22,726	219,6
6........	6,198	160,2	23.......	23,759	221,9
6 1/2.....	6,714	163,48	24.......	24,792	224,2
7........	7,231	166,5	25.......	25,825	226,3
7 1/2.....	7,747	169,37	30.......	30,990	236,2
8........	8,264	172,1	35.......	36,155	244,85
9........	9,297	177,1	40.......	41,320	252,55
10........	10,330	181,6	45.......	46,485	259,52
11........	10,363	186,03	50.......	51,650	265,89
12........	12,396	190			

Le point d'ébullition des liquides est absolument variable, suivant la nature du vase et les substances en dissolution.

Dans les vases de verre, la température d'ébullition de l'eau atteint 101° et 101°,25, tandis que, dans un vase métallique, elle est de 100°.

D'après Gay-Lussac, on pourrait expliquer ce phénomène à une adhérence du liquide après la paroi, qui, ainsi maintenu, ne pourrait se transformer en vapeur.

A la suite de nouvelles expériences, Gay-Lussac constata qu'un récipient en verre recouvert d'une couche de gomme laque permet d'obtenir le point d'ébullition de l'eau à une température moins élevée qu'avec un vase métallique; si, dans ce vase métallique, on ajoute de la limaille de fer, la température d'ébullition devient normale.

Les gaz en dissolution dans l'eau ont une grande importance sur son point d'ébullition; ils favorisent cette ébullition.

Un liquide, qui a déjà bouilli, a perdu la majeure partie de ses gaz en solution; il ne rentre ensuite en ébullition qu'à une température bien supérieure à la première.

Cette vapeur formée, au sein du liquide, se produit avec le concours de ces bulles gazeuses.

D'après cela, la présence de corps tels que : le charbon, la pierre ponce, le sable, des débris métalliques, facilitent l'ébullition, car ils maintiennent toujours avec eux quelques bulles gazeuses.

Les expériences de M. Gernez ont permis de démontrer que l'ébullition d'un liquide est bien favorisée par les gaz qui se trouvent dans son sein, en introduisant de l'air dans un liquide dont l'ébullition est arrêtée au moyen d'une petite cloche de verre; aussitôt la cloche en contact avec le liquide, l'ébullition se produit de nouveau.

Les substances en suspension dans un liquide, comme l'eau, ne changent pas son point d'ébullition; si, au contraire, l'eau contient des substances en solution, son point d'ébullition se trouve changé, et il est retardé; mais la vapeur

émise ne contient pas cependant *a priori* le corps dissous.

Plus la concentration saline du liquide est grande, plus l'ébullition se trouve retardée, ainsi, avec le sel marin, le point d'ébullition des solutions croît avec la richesse saline.

Eau pure........................ bout à				100°
Eau avec 5 0/0 de chlorure de sodium bout à				101°,5
—	10	—	—	103°,0
—	15	—	—	104°,6
—	20	—	—	106°,3
—	25	—	—	107°,9

En dehors de la variation du point d'ébullition suivant la concentration, un liquide bout à des températures différentes, suivant les substances qu'il tient en solution.

Le point d'ébullition d'une solution saturée doit être pris, quand la température reste constante, pendant que le dépôt du sel se poursuit; les indications fournies par la température, au commencement de la formation du dépôt salin, seraient inexactes.

Les expériences de M. Legrand, sur l'ébullition des solutions salines saturées, ont fourni des résultats intéressants.

NOMS DES SELS	POIDS DE SELS pour 100 d'eau	POINT D'ÉBULLITION en degrés centigrades
Chlorure de sodium..........	41,2	108°,4
— potassium.......	59,4	108°,3
— calcium.........	325,0	179°,5
— ammonium......	88,9	114°,2
— baryum.........	60,1	104°,4
— strontium.......	117,5	117°,8
Azotate de sodium...........	224,8	121°,0
— d'ammonium.........	2	180°,0
— de calcium...........	362	151°
Carbonate de sodium.........	48,5	104°,6
— potassium......	205	135°
Phosphate de sodium........	112,6	106°,6
Chlorate de potassium........	61,5	104°,2

Une solution à 30 0/0 des chlorures de magnésium bout à 115°,6.

Lorsque plusieurs corps, moins volatils que l'eau, sont en solution dans ce liquide, sans exercer l'un sur l'autre de réactions chimiques, l'eau se vaporise, en premier lieu, et laisse finalement, par concentration de la masse liquide, un dépôt sédimentaire des substances primitivement dissoutes.

Ces dépôts se produisent, lorsqu'on chauffe de l'eau ordinaire, par exemple : dans les générateurs de vapeur, dont nous allons examiner les effets auxquels ils sont exposés par la nature de l'eau employée.

DEUXIÈME PARTIE

INFLUENCES. — DÉSORDRES. — REMÈDES DANS L'INDUSTRIE

Nous allons passer en revue les industries qui subissent les influences de l'eau et se font remarquer par leur grande consommation.

En même temps que nous étudierons les effets, nous en déterminerons les causes et chercherons les remèdes à apporter, en dehors de l'épuration chimique préalable générale, cette dernière question devant faire l'objet de la troisième partie de cet ouvrage.

Pour atteindre ce but, les différentes phases des industries abordées seront suivies pas à pas. Les avantages, les désordres, les accidents nombreux et les dépenses exagérées de combustible causés par l'eau et la grande diffusion des « Générateurs de vapeur » dans toutes les branches de l'industrie, obligent à aller au fond des phénomènes qui surviennent par la grande variété d'eau que chaque propriétaire d'appareil à vapeur est exposé à employer, question qui l'intéresse au premier chef.

C'est ainsi qu'interviendront les eaux incrustantes (eaux calcaires, eaux séléniteuses), les eaux corrosives et incrusto-corrosives (eaux de mer, eaux de mine) et les eaux graisseuses.

Quant aux remèdes à appliquer, ils seront discutés au fur

et à mesure de leur emploi, sans oublier leur calcul économique, établi d'après les réactions chimiques, en tenant compte des réactions secondaires qui peuvent se produire; enfin le traitement préalable des eaux par la vapeur sera aussi examiné.

Le rôle important que joue l'eau dans les « usines de teinture, d'impression et de blanchiment », nous fait traiter cette question dans un chapitre spécial, dans lequel les phénomènes, qui interviennent par les corps en solution dans les eaux, sont étudiés, ainsi que les moyens d'obvier aux inconvénients provoqués.

D'après une marche semblable, le problème important de l'emploi de l'eau, dans « l'industrie des textiles et le conditionnement », en « savonnerie », dans les « blanchisseries et lavoirs », dans le « travail des peaux » et dans la « préparation des extraits tannants et colorants », sera entrepris dans des chapitres spéciaux à chacune de ces industries.

En « papeterie », l'eau sera aussi étudiée; la « photographie », qui prend de plus en plus d'extension, par ses nouvelles applications, faisant partie des arts industriels, est sujette à de nombreux accidents, par la nature des eaux employées, cause qui malheureusement passe souvent inaperçue ; aussi, la pratique photographique sera-t-elle abordée dans ses différentes phases : préparation de l'émulsion, développement des phototypes, lavage des phototypes, des photocopies.

Les industries agricoles sont loin d'être épargnées, et bien souvent la nature de l'eau a une influence manifeste sur la bonne marche des opérations.

Après avoir parlé de l'eau en « sucrerie », nous passerons à son emploi dans la « fabrication de la glace et des boissons », question qui intéresse au plus haut point la santé et l'hygiène publique.

L'eau, dans la « fabrication du cidre », et particulièrement en « brasserie », agit considérablement sur la qualité du produit obtenu.

Aussi, suivrons-nous la marche complète du travail de brasserie, en nous arrêtant sur chaque sel, qui se rencontre fréquemment dans les eaux, les compose et cause souvent la réputation de certaines bières très estimées.

Par contre, les effets nuisibles et les altérations à prévoir seront étudiés et, par suite, évités.

En « distillerie », l'étude de l'intervention de l'eau sera poussée non seulement dans les procédés au malt et à l'acide, mais encore dans le traitement aseptique récent par l'Amylomyces et le mucor β.

CHAPITRE I

DES EAUX D'ALIMENTATION DANS LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

L'eau employée à l'alimentation des générateurs de vapeur prend une importance de premier ordre, tant par sa consommation quotidienne considérable que par les désordres nombreux auxquels peut donner lieu la variété de sa composition.

Par l'examen analytique d'une eau, il est possible d'en déterminer la nature, et, par conséquent, de prévoir les effets nuisibles auxquels on pourra remédier par un traitement effectué judicieusement.

Au point de vue des générateurs de vapeur, nous classerons les eaux suivant leur nature, en :

1° Eaux incrustantes ;

2° Eaux corrosives et incrusto-corrosives, qui seront étudiées dans des paragraphes particuliers.

Nous examinerons les effets produits, nous arrêtant sur les incrustations et les corrosions, ainsi que sur les causes qui les ont déterminées ; puis nous aborderons, au fur et à mesure, l'étude de la correction de ces eaux.

Les dépenses exagérées, les désordres et les accidents nombreux qui sont la conséquence des dépôts formés par les eaux incrustantes, ont suscité beaucoup de procédés, pour combattre les incrustations produites dans les générateurs de vapeur ; mais, malheureusement, ces procédés sont souvent loin d'être des remèdes radicaux.

Nous diviserons les procédés de traitement des eaux des générateurs de vapeur en trois catégories :

1° Par des substances introduites dans les générateurs de vapeur, agissant :

α) mécaniquement ;

β) chimiquement ;

2° Par voie de localisation dans des dispositifs spéciaux aux générateurs, et traitement préalable des eaux par la vapeur ;

3° Par traitement chimique préalable des eaux.

L'examen du traitement des eaux sera fait, dans ce chapitre, relativement aux deux premières catégories de procédés, qui s'appliquent plus particulièrement aux générateurs de vapeur.

La troisième catégorie de procédés s'applique non seulement aux générateurs, mais aussi à toutes les industries où l'eau demande à être débarrassée de certains sels gênants, avant d'être employée sans avoir recours à la vapeur.

Dans la troisième partie de cet ouvrage, nous examinerons, spécialement, le traitement chimique préalable des eaux, ainsi que les appareils afférents à ce traitement, qui tend de plus en plus à entrer en vigueur dans l'industrie.

§ 1. — EAUX INCRUSTANTES. — DES INCRUSTATIONS EN GÉNÉRAL

Les eaux, dans les générateurs de vapeur, étant soumises à certaines influences physiques, telles que : élévation de température, ébullition, vaporisation, concentration et pression, il en résulte certains phénomènes relatifs aux conditions de solubilité des matières salines.

A la suite de l'ébullition prolongée d'une eau naturelle, il est facile de constater qu'elle fournit un dépôt, en plus ou moins grande abondance, suivant l'origine de cette eau.

Les eaux, par leur passage à travers les différentes couches géologiques, s'emparent des différents éléments minéraux qu'elles abandonnent, avec d'autant plus de

facilité qu'elles en sont plus chargées et qu'elles sont soumises à des influences physiques plus sensibles.

Les dépôts se forment donc, d'après le titre hydrotimétrique et suivant les modifications apportées à la solubilité des matières salines dans l'eau, étant données les conditions présentes de l'observation.

Ces dépôts sont formés par les substances qui étaient en solution dans l'eau ; on a des combinaisons calcaires, magnésiennes, ferrugineuses, etc., dont l'état d'homogénéité, de dureté et d'adhérence varie ; mais le point de départ est la composition de l'eau.

Par suite, on rencontre dans les générateurs :

1° Des écumes, qui flottent à la surface de l'eau, sèchent au bout d'un certain temps et, finalement, se transforment en poussière ;

2° Des agglomérations salines douces au toucher, dont la dureté est faible, ce qui les rend sujettes à se diviser ;

3° Des masses solides, dures et adhérentes aux parois.

On comprend, sous le nom d'incrustation, des dépôts durs, formés en majeure partie de sels calcaires et magnésiens, qui adhèrent après les parois des générateurs de vapeur, mais dont la composition est extrêmement variable.

Les eaux calcaires tiennent le carbonate de calcium en solution dans l'eau, à la faveur de l'acide carbonique en excès ; aussi, portées à l'ébullition, dégagent-elles leur gaz acide carbonique, le carbonate de calcium, n'étant plus en présence de son dissolvant, se dépose; il en est de même pour le carbonate de magnésium.

Pour les eaux séléniteuses, la température influe considérablement sur le sulfate de calcium en solution ; vers 140°, il y a transformation du sulfate en un autre de formule $2So^4Ca + H^2O$, qui se dépose sous forme cristallisée.

Avec les eaux calcaires, on obtient des dépôts formés de boues amorphes et pulvérulentes.

Avec les eaux séléniteuses, ce sont surtout des masses dures, adhérentes et stratifiées.

Généralement, les eaux contiennent les deux sels de calcium, sulfate et carbonate, et, par conséquent, les dépôts les contiennent aussi.

Au point de vue analytique, les incrustations diffèrent énormément; ces variations dépendent non seulement de la composition de l'eau, mais encore des influences physiques, telles que : la température et la pression de l'eau, qui exercent des actions sur la solubilité et la dissociation des sels.

Ces matières salines, déposées sur les tôles, sont soumises à la haute température du générateur, ce qui contribue encore à leur faire subir des modifications.

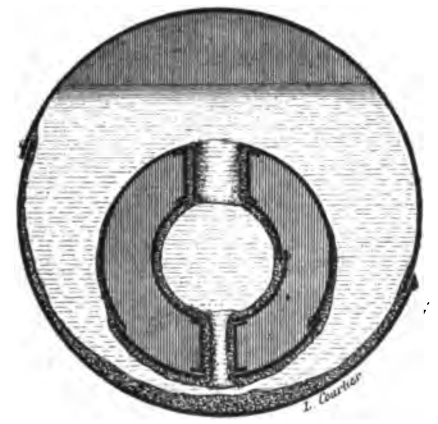


Fig. 3. — Entartrement d'une chaudière de Cornouailles à bouilleurs intérieurs (coupe transversale).

Néanmoins, on peut dire que, d'après l'essai hydrotimétrique, on peut prévoir la nature des incrustations et avoir une idée approchée de leur composition.

Le carbonate de chaux, lui, se retrouve presque intégralement dans les incrustations; mais les autres sels sont sujets à des variations beaucoup plus complexes dans leur solubilité, ce qui donne des différences entre le rapport de ces sels dans la composition de l'eau avec celui de ces mêmes sels dans la composition des incrustations.

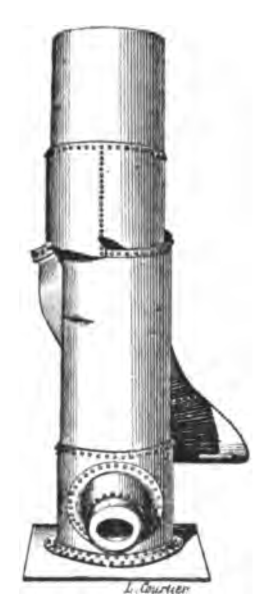
Non seulement les incrustations varient : d'épaisseur, de structure, de composition, de dureté et d'adhérence, d'une chaudière à l'autre ou avec une même chaudière alimentée avec des eaux différentes, mais encore, dans une même chaudière alimentée avec une eau déterminée.

Les incrustations qui se déposent près du foyer ren-

ferment généralement plus de carbonate, et celles qui sont plus éloignées contiennent plus de sulfates.

En chauffant l'eau rapidement, les dépôts tendent à se faire sous forme de boues.

Si, dans une eau, les boues et dépôts pulvérulents n'offrent souvent pas de danger, il peut arriver cependant que les dépôts finissent par devenir assez épais ; dans ces conditions



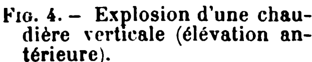


Fig. 4. – Explosion d'une chaudière verticale (élévation antérieure).



Fig. 5. — Explosion d'une chaudière verticale (élévation latérale).

surtout, lorsque la chaudière est longue, le métal est soumis à des différences de dilatation, ce qui occasionne des soulèvements.

De plus, ces substances pulvérulentes peuvent être entraînées dans les organes des machines et causer des désordres, surtout, lorsque les cylindres sont graissés avec des huiles et graisses d'origine végétale ou animale, car il se forme des combinaisons calcaires tout à fait nuisibles.

En effet, ces combinaisons calcaires sont souvent mélan-

gées d'huiles et graisses non saponifiées, qui facilitent la surchauffe des tôles.

D'une façon générale, on devra se préserver de la formation de ces dépôts, et nous examinerons, dans la suite, les différents régimes qu'on peut faire subir aux eaux pour y accéder.

Des incrustations, il résulte trois facteurs importants qui mettent l'industriel dans l'obligation de s'en préserver.

D'abord, elles augmentent la proportion de charbon : en effet, ces dépôts sont absolument mauvais conducteurs de la chaleur; mais cette conductibilité varie suivant leur composition.

D'après les expériences de M. Rogers, il résulterait que, pour la moyenne des incrustations, elle serait de 1/37 de celle du fer.

Cette mauvaise conductibilité amène donc : une dépense exagérée de combustible, pour effectuer la vaporisation de l'eau, et un retard dans la transformation de l'eau en vapeur.

Pour se faire une idée exacte de la mauvaise conductibilité des incrustations, il serait bon de connaître parfaitement la composition de celles qui ont servi à l'observation.

Il n'est pas rare de voir cette mauvaise conductibilité se traduire par un surcroît de dépense de 50 à 60 0/0 de combustible, pour une incrustation de 6 à 10 millimètres d'épaisseur seulement. En dehors de la perte de combustible, lorsqu'on procède au nettoyage de la chaudière, on éprouve de grandes difficultés à enlever les incrustations, surtout lorsqu'elles proviennent d'eaux séléniteuses. On doit les extraire par le piquage à l'aide du marteau et du burin; cette opération demande le concours d'un ouvrier habile et détériore toujours les tôles.

Quelquefois, pour faciliter leur extraction, on ajoute de l'eau acidulée par de l'acide chlorhydrique; mais l'emploi des acides exige toujours de grandes précautions, si l'on ne veut pas s'exposer à corroder les tôles du générateur en traitement.

Enfin les incrustations sont cause de détérioration et entraînent des accidents ; en effet, par la mauvaise conductibilité et la non-homogénéité des incrustations, le métal subit des dilatations inégales, ce qui produit des fentes et des fissures, des desserrements des rivets et des disjonctions des tôles.

Parfois même, les tôles sont portées au rouge, soumises ainsi aux différentes influences de la pression de la vapeur d'une part, et à la combustion de l'autre ; les tôles sont vite boursouflées, fissurées, crevées et entraînent des accidents graves.

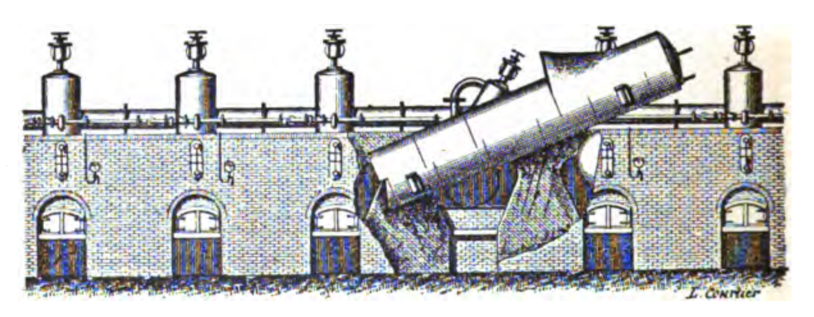


FIG. 6. — Explosion dans une batterie de chaudière horizontale (élévation).

Souvent, on a à déplorer des explosions par la rupture des incrustations ; les incrustations mauvaises conductrices de la chaleur entraînent la surchauffe des tôles. Si, par malheur, une fente arrive à se produire dans la masse incrustante, l'eau, en prenant contact avec les tôles du générateur portées à une haute température, produit aussitôt une quantité énorme de vapeur, qui s'élève en quelques instants à une pression considérable amenant l'explosion du générateur.

Les incrustations cristallines sulfatées ont des tendances à se détacher des parois, au fur et à mesure de leur formation, par l'échauffement élevé des tôles des générateurs ; elles sont ensuite entraînées par la vapeur et se déposent

vers le foyer sous forme de tas, en détériorant la chaudière et nuisant à la vaporisation régulière de l'eau.

On peut se débarrasser de ces tas en se servant convenablement d'un purgeur.

Les incrustations sont particulièrement nuisibles aux chaudières à vaporisation rapide, dont les faisceaux tubulaires sont vite envahis, ce qui entraîne, en dehors de l'usure, dans le cas où on ne prend pas de précautions, des arrêts fréquents dans la marche des machines.

§ 2. — TRAITEMENT DES EAUX INCRUSTANTES PAR DES SUBSTANCES INTRODUITES DANS LES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

Nous allons d'abord examiner les corps qui agissent par voie mécanique; ensuite nous étudierons les substances qui ont une action chimique sur les eaux incrustantes. La considération des substances chimiques nous amène à les diviser en deux catégories, suivant qu'elles sont organiques ou minérales.

α) SUBSTANCES AGISSANT MÉCANIQUEMENT

Parmi toutes les substances qu'on introduit dans les eaux des générateurs de vapeur pour combattre les incrustations, il y en a certainement bien peu qui agissent d'une façon purement chimique.

Si l'on cherche les causes des phénomènes dont ils sont la conséquence, on trouve souvent des liens physico-chimiques, donnant lieu à des transformations de la matière initiale sous différentes influences, en une autre, modifiée ou transformée dans sa composition la plus intime, qui agira d'une manière toute différente de la première.

Ce sont ces transformations qu'il faut suivre pour bien se rendre compte de l'action exercée.

L'action purement mécanique est basée sur l'introduction de matières inertes dans les chaudières, qui ont pour but de

s'interposer entre les particules de matière incrustante et d'empêcher leur union en masse compacte adhérente.

Dans le cours de la vaporisation, l'adhérence des particules de matière incrustante entre elles est contrariée par les divers courants intérieurs, qui entraînent les corps introduits en-vue d'empêcher les incrustations.

Mais, si les entraînements dans les générateurs par les courants intérieurs contrarient l'union des particules incrustantes entre elles et sont, par conséquent, un bienfait, ces mêmes entraînements, en dehors de la chaudière, deviennent nuisibles.

L'introduction des matières inertes est, en ce sens, préjudiciable ; car souvent ces corps solides sont entraînés dans les organes de la machine qu'ils usent et détériorent rapidement.

Parmi les matières inertes employées généralement pour éviter les incrustations produites par les eaux, nous citerons l'argile, le verre pilé, les rognures de zinc, les matières amylacées.

Argile. — L'argile a été proposé par Pelouze ; en l'employant, on expose ses chaudières à des coups de feu, surtout si on ne prend pas la précaution de la délayer et de l'introduire au fur et à mesure des besoins.

En opérant avec cette précaution, on évite que l'argile se dépose en trop grande quantité.

Ce remède possède une certaine efficacité ; mais les entraînements dans les organes de la machine sont toujours à craindre, ainsi que nous l'avons dit, d'une manière générale, à propos de toute matière inerte.

Zinc. — Le zinc, sur lequel nous insisterons particulièrement à propos des eaux corrosives et incrusto-corrosives, agit électro-mécaniquement, par formation d'un courant électrique en présence de deux métaux hétérogènes : fer et zinc.

D'autres substances ont été proposées; le talc, des copeaux de bois, des matières amylacées, etc.

Talc. — Pour combattre les incrustations, M. Aragon conseille d'employer une proportion de talc égale au 1/10e du poids des matières terreuses contenues dans l'eau; autrement dit : on ajoute à l'eau à désincruster un poids θ en grammes de talc égal au nombre θ représentant le titre hydrométrique trouvé en faisant l'essai de cette eau.

Au sujet du talc, l'explication donnée est toujours basée sur le principe général de l'action des matières inertes, en vue de la désincrustation, mais certainement il s'exerce avec le talc des actions chimiques analogues aux silicates alcalins, que nous étudierons plus loin.

Verre pilé. — De même que le talc et les silicates, le verre pilé, par la vapeur et le concours des pressions exercées dans l'intérieur des générateurs, subit aussi une action proportionnée de solubilisation, qui le rend propre alors à des actions chimiques sur les sels alcalino-terreux.

Les inconvénients obtenus avec les corps précédents sont afférents au verre pilé, qui provoque des phénomènes d'action mécanique.

Corps gras seuls ou mélangés. — Pour empêcher l'adhérence des matières incrustantes, on a proposé aussi l'emploi de corps gras seuls ou associés à d'autres matières.

C'est surtout dans les pays étrangers que ce procédé a trouvé le plus de crédit; mais son emploi prête aux inconvénients les plus graves, qui peuvent suivre du fait de l'interposition de ces matières grasses entre l'eau et les tôles des chaudières.

Cette interposition provoque une mauvaise transmission de la chaleur, qui amène fréquemment des fentes et des coups de feu.

En Belgique, pendant longtemps, on frottait les parois

des générateurs avec un mélange de suif et de plombagine.

Cette pratique est vieille, et Sibbad, en 1854, faisait usage, dans le même but, d'un mélange à parties égales de suif, graphite et charbon de bois.

Certains mécaniciens frottent, tous les mois, les parois de leur générateur avec un mélange composé de 1 partie de goudron et 5 parties d'huile quelconque.

D'autres introduisent, tous les mois, dans leur chaudière, une trentaine de grammes de résine par cheval-vapeur. Quel que soit le corps gras employé, on est toujours exposé aux conséquences fâcheuses que nous avons relatées plus haut.

Le son gras, dont on se sert aussi quelquefois, forme des dépôts calcinés nuisibles.

Matières amylacées. — Les matières amylacées : les topinambours et les pommes de terre, sont souvent employées par les industriels.

Leur efficacité repose sur leur transformation en une matière qui enrobe les sels alcalino-terreux, qui se précipitent des eaux incrustantes.

Par l'interposition de cette matière, les molécules des sels incrustants peuvent alors glisser, les unes sur les autres, sans produire d'agglomérations compactes et adhérentes.

Ainsi la fécule de pomme de terre et les matières amylacées diverses, sous l'influence des actions intérieures des générateurs de vapeur, sont transformées par leur hydratation en cyamodextrine et dextrine, selon la réaction :

$$(C^6H^{10}O^5)^{3n} + H^2O = nC^6H^{12}O^6 + 2nC^6H^{10}O^5.$$

La proportion de pommes de terre ou de topinambours à employer peut être de 1 litre à 1^{lit},5 par cheval-vapeur et par mois.

Au bout de chaque mois, il est bon d'examiner la chaudière et de la nettoyer.

Notons qu'on peut remplacer les matières amylacées par leur principe actif: amidon ou fécule; on a avantage à l'employer; car on opère avec une substance déterminée, de composition connue : l'amidon ou la fécule.

β) SUBSTANCES AGISSANT CHIMIQUEMENT

a) MATIÈRES ORGANIQUES

Nous avons remarqué que certaines substances, comme les matières amylacées, en dehors de leur intervention purement mécanique, subissent une transformation, par leur hydratation, en cyanodextrine et dextrine, qui, à leur tour, agissent mécaniquement.

En dehors de ces corps, d'autres, comme les matières colorantes des bois, ont une action chimique qui intervient dans le traitement, bien qu'elle ait été passée sous silence, jusqu'à présent, par les différents auteurs.

Avec les matières colorantes des bois, les tannins et les composés tanniques, il se forme des réactions complexes, souvent mal définies, qui sont la conséquence de la variété des tannins et des conditions particulières de pression.

Quant aux copeaux de bois employés, tels que le bois de campêche, de chêne, le bois jaune, le gaïac, l'acajou, le quercitron, ils agissent non seulement comme corps venant s'interposer, par leur présence même, entre l'union des particules des matières incrustantes, mais encore par la formation de laques avec les sels alcalino-terreux de l'eau et les matières colorantes des bois.

Tous les corps que nous venons de citer agissent, en effet, en tant que produits propres à empêcher l'union et l'adhérence des matières incrustantes de l'eau; mais c'est surtout sur les eaux contenant des carbonates alcalino-terreux que l'action est la plus sensible.

Avec les eaux sulfatées, les incrustations sont plus difficiles à combattre.

Bois divers. — Les bois, par leurs matières colorantes, forment, avec les sels calciques, des laques qui se précipitent; de plus, par les différents tannins qui y sont contenus, tels que l'acide catéchique, ou catéchine, l'acide cachoutannique, l'acide morique, l'acide quercitannique et l'acide morintannique, ou maclurine, il se produit des combinaisons calciques non adhérentes entre elles.

Chaque bois agit donc par les tannins qui lui sont propres; ainsi, avec le bois jaune, ce sont des tannins, tels que l'acide morintannique et morique, qui agissent sur les sels calciques de l'eau; avec le cachou, c'est par son acide cachoutannique.

Tannins. — Le tannin ordinaire, ou acide digallique, combiné ou non à un métal alcalin, subit, sous l'influence de l'eau, une hydratation, et se transforme en acide gallique, d'après la réaction :

$$C^{14}H^{10}O^{9} + H^{2}O = 2C^{7}H^{6}O^{5}.$$

Par l'ébullition prolongée, l'acide gallique ainsi formé se dédouble en acide carbonique, d'une part, et en acide pyrogallique :

$$C^{7}H^{6}O^{5} = Co^{2} + C^{6}H^{6}O^{3}.$$

Finalement, l'introduction de tannin ordinaire, en présence de sels alcalins contenus dans l'eau, fournit des combinaisons de digallate, gallate et pyrogallate, de calcium et de magnésium.

Pour le quercitron, il se produit, par l'ébullition de l'eau et la pression, une hydratation qui amène un dédoublement en quercétine et isodulcite :

$$C^{33}H^{30}O^{17} + H^{2}O = C^{27}H^{18}O^{12} + C^{6}H^{14}O^{6}.$$

Une autre réaction intervient encore à la suite de l'ébullition prolongée de la quercétine $C^{27}H^{18}O^{12}$, qui, sous l'in-

fluence de l'eau, se dédouble en phloroglucine et en acide quercétique :

$$C^{27}H^{18}O^{12} + 2H^2O = 2C^6H^6O^3 + C^{15}H^{10}O^7 + O.$$

Cette réaction est favorisée par les alcalis, et souvent on en ajoute aux désincrustants, sans chercher la cause de cette action bienfaisante, en ne considérant que le résultat obtenu.

Décoctions de bois. — De nombreux produits vendus dans l'industrie ont pour base des copeaux de bois.

Pour le bois de campêche, la dose de 500 à 600 grammes par cheval-vapeur peut très bien convenir par mois de travail pour la plupart des eaux.

Avec les autres bois, les proportions sont à peu près les mêmes; mais il est bon de s'en tenir à la quantité strictement nécessaire, que la pratique permet de déterminer, suivant la nature de l'eau.

Parmi les désincrustants connus, le tartriphage Constant est un de ceux qui repose sur l'action des principes contenus dans les bois.

Son action est complexe, si l'on veut en disséquer toutes les phases, à cause du grand nombre de matières organiques qui les composent; mais, en résumé, il agit mécaniquement et chimiquement.

Pour la fabriquer, on mélange ensemble :

50	kilogrammes	d'écorces de chêne cuite dans	30	litres d'eau.
5	—	de cachou cuite dans	15	—
5	—	de bois de gaïac cuite dans	15	—
5	—	d'extrait de campêche dans	10	—
10	—	de mélasse dans	10	—
10	—	de colle forte dans	15	—

Enfin on ajoute 10 litres d'une lessive savonneuse de glycérine et de décoction de margarine.

D'après les indications de M. A. Mallet, on introduit, pour

un générateur de 5 chevaux, 1 litre de tartriphage tous les huit jours.

Les décoctions de bois sont bien préférables à l'introduction, dans les générateurs, de copeaux ; on s'expose moins à avoir des dépôts agglutinés en masse de ces bois, qui sont le siège de calcinations nuisibles pour les générateurs, et qui entraînent un chauffage exagéré.

En considérant les effets des décoctions de bois et leurs causes, nous avons préparé un produit composé de matières organiques seulement et constaté que ce remède était efficace.

Pour le préparer, nous faisons un extrait par ébullition prolongée, pendant une heure au moins, de 2 kilogrammes de sciure de chêne dans 10 litres d'eau ; ensuite nous ajoutons 3 kilogrammes de mélasse.

Un kilogramme de ce produit suffit largement par semaine et par cheval; et même, suivant la nature de l'eau, on peut marcher pendant plusieurs semaines avec cette dose.

Tannates alcalins. — Dans un même ordre d'idée que précédemment, nous avons proposé un autre produit, basé sur la solubilité des tannates alcalins et la formation de composés alcalino-terreux, dénués de toute adhérence aux parois des générateurs.

Pour cela, nous préparons d'abord un extrait avec le cachou, qui contient par conséquent des tannins, c'est-à-dire : l'acide cachoutannique et l'acide catéchique ou catéchine.

A cet effet, nous prenons 4 litres d'eau que nous faisons bouillir pendant une vingtaine de minutes avec 800 grammes de cachou ; ensuite nous décantons et filtrons rapidement le liquide obtenu.

Le liquide filtré est alors porté à l'ébullition pendant quelques minutes, après y avoir ajouté un poids de carbonate de soude correspondant à 200 grammes de carbonate anhydre.

Il se forme des acides divers, de l'acide rubinique et japonique, et des composés tannique, avec la soude ; après dissolution, on laisse refroidir le produit ainsi obtenu.

On peut employer efficacement 1 kilogramme de ce produit par cheval et par semaine pour combattre les incrustations ; mais cette dose peut durer plus longtemps, suivant la nature de l'eau.

Matières sucrées. — L'emploi des matières sucrées, proposées pour empêcher les incrustations, repose sur l'augmentation de solubilité de la chaux dans l'eau par la présence de ces matières sucrées.

De cette façon, on arrive à dissoudre des quantités considérables de sels de chaux, à retarder les dépôts qui, en se formant, sont dénués de toute adhérence.

Considérons l'action chimique en elle-même : il se forme un sucrate monocalcique de formule $C^{12}H^{22}O^{11}CaO$, très soluble dans l'eau ; on peut, du reste, précipiter ce composé calcique par de l'alcool, il se précipite alors sous l'aspect d'une masse blanche et cassante.

Dans les générateurs de vapeur, il y a un dédoublement du sucrate monocalcique, qui se produit par l'ébullition de l'eau.

En effet ce sucrate monocalcique $C^{12}H^{22}O^{11}CaO$ donne deux autres sucrates : du sucrate sesquicalcique $2C^{12}H^{22}O^{11}3CaO$ et du sucrate tricalcique $C^{12}H^{22}O^{11},3CaO$; ce dernier sucrate est moins soluble à chaud qu'à froid ; par conséquent l'eau, en se refroidissant, le redissoudra.

Pour éviter les incrustations, on peut employer 800 à 900 grammes de mélasse par cheval-vapeur et par mois.

Les sels de chaux se dissolvent en quantité telle, dans l'eau sucrée, qu'on peut évaporer plusieurs fois un volume d'eau égal à celui du générateur, à la suite de transformations, sous l'influence de l'eau et de la haute température, en glucate et apoglucate.

Il se dépose une poudre brune contenant de l'acide

ulmique en grande partie; cette poudre brune est même douée d'une certaine inflammabilité.

Si l'on vient à vaporiser des quantités d'eau trop grandes, sans renouveler la provision de mélasse, les incrustations se produisent alors.

Il est donc utile d'ajouter, en temps voulu, une nouvelle portion de mélasse, et il est bon de nettoyer les générateurs tous les mois.

Glycérine. — L'emploi de la glycérine, préconisé par MM. Asselin et P. Videt, repose sur la grande solubilité des sels calciques, sels incrustants de l'eau, dans la glycérine.

Une fois que l'eau a fourni, par sa vaporisation, une trop grande quantité de sels calciques pour être dissous par la glycérine, les sels alcalino-terreux, au lieu de se précipiter dans l'eau en masse incrustante, se présentent sous forme gélatineuse qui entrave la cristallisation et empêche par conséquent toute adhérence.

b) MATIÈRES MINÉRALE

Les matières organiques ne sont pas seules à augmenter la solubilité des sels alcalino-terreux; certaines matières minérales, comme l'hyposulfite de sodium et le chlorure d'ammonium, augmentent aussi cette solubilité dans de fortes proportions.

Non seulement on peut combattre les incrustations, en augmentant la solubilité des sels incrustants, mais encore en transformant, par voie de double décomposition, ces sels en d'autres qui ne possèdent aucun pouvoir incrustant.

Certains sels ont été préconisés à cet effet : le carbonate de sodium, le silicate de sodium, le chlorure de baryum, l'oxalate de sodium et les oxydes des métaux alcalins (soude et potasse) et alcalino-terreux (chaux et magnésie).

Passons rapidement en revue les actions de ces sels dans les générateurs de vapeur ; nous reviendrons sur certains d'entre eux à propos de l'épuration préalable des eaux.

Carbonate de sodium. — Le carbonate de sodium, préconisé par M. Kuhlmann, précipite le carbonate de calcium qui se trouve en solution dans l'eau.

On obtient du carbonate de calcium précipité et du sesquicarbonate de sodium, d'après la réaction :

$$(Co^3H)^2Ca + 2Co^3Na^2 = (Co^3)^3Na^4H^2 + Co^3Ca.$$

Mais ce sesquicarbonate de sodium se décompose à son tour pour donner du carbonate neutre de sodium :

$$(Co^3)^3Na^4H^2 = 2Co^3NaH + Co^3Na^2.$$

L'eau étant portée à l'ébullition, le bicarbonate de sodium en solution dégage une partie de son acide carbonique, pour donner du carbonate neutre de sodium :

$$2Co^3NaH + Co^3Na^2 = 2Co^3Na^2 + H^2O + Co^2.$$

Cette réaction finale montre qu'on obtient 2 molécules de carbonate neutre de sodium, qui restent en solution, prêtes à rentrer de nouveau en action.

On a donc une récupération des 2 molécules de carbonate de sodium employées, et on se trouve en présence d'une réaction cyclique.

Si l'eau ne contient que du carbonate de calcium en solution, il suffit d'une quantité de carbonate de sodium minime pour précipiter des quantités considérables de carbonate de calcium.

Mais les eaux contiennent le plus souvent d'autres sels : du sulfate et du chlorure de magnésium, ainsi que du sulfate de magnésium.

En présence du sulfate de calcium, on obtient du sulfate de sodium soluble et du carbonate de calcium qui précipite:

$$So^4Ca + Co^3Na^2 = Co^3Ca + So^4Na^2.$$

Le chlorure de calcium lui-même intervient aussi dans

la réaction avec le carbonate de sodium, pour fournir du chlorure de sodium soluble et du carbonate de sodium :

$$CaCl^2 + Co^3Na^2 = Co^3Ca + 2NaCl.$$

Le sulfate de magnésium donne une réaction analogue à celle du sulfate de calcium :

$$So^4Mg + Co^3Na^2 = Co^3Mg + So^4Na^2.$$

D'après cette équation, le sulfate de magnésium est transformé en carbonate de magnésium insoluble.

On voit donc que les sulfates sont préjudiciables à la dépense de réactif à employer : plus il y aura de sulfate, plus il faudra de carbonate de sodium.

Avec la plupart des eaux qui ne contiennent presque pas de sulfate de calcium, 100 grammes environ de carbonate de sodium par cheval-vapeur peuvent suffire pendant un mois.

Si l'eau contient du sulfate de calcium, il faudra ajouter un poids de 78 grammes environ de carbonate de soude pur pour 100 grammes de sulfate de calcium anhydre contenu dans l'eau.

Comme le sulfate de magnésium, le chlorure de magnésium est précipité, par le carbonate de sodium, en carbonate de magnésium :

$$MgCl^2 + Co^3Na^2 = Co^3Mg + 2NaCl.$$

Cette réaction a son utilité, car elle transforme le chlorure de magnésium, corps très instable et essentiellement corrosif, en un autre qui est soluble, le chlorure de sodium.

Il y a avantage à employer le carbonate de sodium en quantité juste nécessaire à la précipitation des sels de l'eau, afin d'éviter la corrosion des différentes pièces de la chaudière.

Silicates alcalins. — Le silicate de sodium, proposé aussi pour désincruster les eaux d'alimentation des générateurs de vapeur, se transforme, en présence du carbonate de calcium en solution dans l'eau, en silicate de calcium, précipité blanc gélatineux :

$$SiO^3Na^2 + (Co^3H)^2Ca = SiO^3Ca + Co^2 + H^2O + Co^3Na^2.$$

On obtient donc du carbonate de sodium, qui est prêt à fournir, d'une part, les réactions cycliques que nous avons indiquées plus haut, en présence d'une nouvelle quantité de sel soluble : le bicarbonate de calcium, et, d'autre part, on peut obtenir, avec les autres sels de calcium et de magnésium, les actions que nous avons relatées au sujet du carbonate de sodium.

Restent enfin les réactions directes qui interviennent entre le silicate de sodium et les sels solubles, sulfate de calcium et sulfate de magnésium.

Le sulfate de calcium fournit un précipité de silicate de calcium et du sulfate de sodium soluble :

$$SiO^3Na^2 + So^4Ca = So^4Na^2 + SiO^3Ca.$$

De même, le sulfate de magnésium procure une réaction analogue :

$$SiO^3Na^2 + So^4Mg = So^4Na^2 + SiO^3Mg,$$

c'est-à-dire qu'il y a formation d'un sulfate de sodium soluble et de silicate de magnésium insoluble.

Dans la majeure partie des eaux, on peut désincruster avec 600 grammes d'une lessive de silicate de sodium à 35° Baumé par cheval-vapeur et par mois.

Il est évident que plus l'eau contiendra de sulfate, plus elle occasionnera de dépense de silicate de sodium ; il y a avantage à déterminer rigoureusement les quantités de silicate de sodium à employer, selon la proportion de sels contenus dans l'eau.

Soude et potasse. — La soude et la potasse caustique sont encore en usage; mais la précipitation du carbonate de calcium est plus difficile à obtenir qu'avec le carbonate de sodium, et on s'expose aussi à corroder les pièces des chaudières, si on ne prend pas la précaution d'introduire le réactif par petites portions et juste en quantité voulue.

Il y a, avec le bicarbonate de calcium en solution dans l'eau, saturation de l'acide carbonique qui le rend soluble, et formation de carbonate de sodium soluble :

$$(Co^3H)^2Ca + 2NaOH = Co^3Ca + Co^3Na^2 + 2H^2O.$$

Le carbonate de sodium, obtenu ainsi, pourra, à son tour, réagir sur les sulfates alcalino-terreux, dans une certaine limite.

Passée cette limite, on est obligé d'avoir recours à un autre réactif.

Chlorure de baryum. — En se servant du chlorure de baryum, on transforme le sulfate de calcium, corps éminemment incrustant, en un autre, le sulfate de baryum, dénué de toute propriété incrustante :

$$So^4Ca + BaCl^2 = So^4Ba + CaCl^2 ;$$

on obtient de plus, dans cette réaction, du chlorure de calcium soluble.

Le sulfate de magnésium agit d'une façon analogue au sulfate de calcium :

$$So^4Mg + BaCl^2 = So^4Ba + MgCl^2 ;$$

mais la formation du chlorure de magnésium est nuisible, ainsi que nous aurons l'occasion de le voir.

Le chlorure de baryum est un réactif moins coûteux que la baryte ; mais cette dernière est souvent employée, lorsque les eaux sont calcaires.

Baryte. — En employant la baryte, on obtient du carbonate de calcium qui précipite :

$$(Co^3H)^2 Ca + Ba(OH)^2 = Co^3Ca + Co^3Ba + 2H^2O.$$

Le carbonate de baryum obtenu est très peu soluble dans l'eau ; il peut réagir à son tour sur les sulfates de l'eau et donner du sulfate de baryum précipité :

$$Co^3Ba + So^4Ca = So^4Ba + Co^3Ca.$$

Cette dernière phase se produit lentement, car l'action du carbonate de baryum sur le sulfate de calcium est pénible.

En dehors de cette phase secondaire, la baryte peut avoir une action directe sur le sulfate de calcium, et, dans ce cas, il y a précipitation du sulfate de baryum et formation de chaux :

$$So^4Ca + Ba(OH)^2 = So^4Ba + Ca(OH)^2.$$

Il est à remarquer que la chaux elle-même peut agir, à son tour, sur le bicarbonate calcique de l'eau pour saturer 1 molécule d'acide carbonique et former du carbonate de calcium qui précipite :

$$(Co^3H)^2 Ca + Ca(OH)^2 = 2Co^3Ca + 2H^2O.$$

Ajoutons que certains industriels introduisent, dans les eaux des générateurs, des mélanges de baryte et de chlorure de baryum.

Chromates. — L'emploi des chromates alcalins repose sur la formation de chromates de calcium, avec les sels calciques solubles de l'eau.

Ainsi, avec le bicarbonate calcique en solution dans l'eau, on a :

$$CrO^4K^2 + (Co^3H)^2 Ca = CrO^4Ca + Co^3K^2 + Co^2 + H^2O.$$

Avec le sulfate de calcium, on a la réaction :

$$CrO^4K^2 + So^4Ca = CrO^4Ca + So^4K^2.$$

Le chromate de calcium obtenu a pour composition

$$CrO^2 \langle {}^{O}_{O} \rangle Ca + H^2O,$$

et peut servir à la fabrication des couleurs.

Par l'examen des poids moléculaires, on sait qu'il y a avantage à employer les chromates neutres au lieu des bichromates.

Avec les bichromates alcalins, on aurait les réactions :

$$Cr^2O^7K^2 + (Co^3H)^2Ca = Cr^2O^7Ca + Co^3K^2 + Co^2 + H^2O,$$

et avec le sulfate de calcium :

$$Cr^2O^7K^2 + So^4Ca = Cr^2O^7Ca + So^4K^2.$$

En dehors du chromate neutre ou du dichromate de calcium, il y a formation de carbonate de potassium et de sulfate de potassium, qui restent en solution.

Oxalates alcalins. — Les oxalates alcalins sont des corps, qui, par leur propriété de former des sels insolubles avec les combinaisons calciques de l'eau, peuvent être employés à la désincrustation.

On a alors la réaction :

$$2\begin{pmatrix} CoOK \\ | \\ CoOK \end{pmatrix} + (Co^3H)^2Ca + So^4Ca =$$

$$2\begin{pmatrix} CoO \\ | \\ CoO \end{pmatrix}\!\!>Ca\Big) + Co^3K^2 + So^4K^2 + Co^2 + H^2O.$$

D'après cette équation, les 2 molécules d'oxalate de potassium donnent naissance à 1 molécule de carbonate de potassium, qui, lui, peut à son tour fournir la série des réactions

désincrustantes que nous avons signalées à propos des carbonates alcalins.

Malgré ces réactions secondaires et la régénération possible de l'oxalate alcalin par traitement spécial de l'oxalate de calcium, le prix élevé des oxalates a toujours été préjudiciable à leur emploi, bien qu'il soit le réactif classique des laboratoires.

Remarque. — Tout ce que nous avons dit, au sujet des sels de sodium, se rapporte aux sels de potassium, et réciproquement.

§ 3. — CALCUL DES QUANTITÉS DE RÉACTIFS CHIMIQUES NÉCESSAIRES POUR COMBATTRE LES INCRUSTATIONS D'UNE EAU DE COMPOSITION CONNUE.

Beaucoup d'industriels vendent, dans le commerce, des produits, sous les noms les plus variés, qui ont pour but de remédier aux incrustations.

Le plus souvent ces marchandises nous exposent soit à effectuer une opération incomplète de la désincrustation de l'eau, soit à employer des quantités de désincrustants tout à fait exagérées.

Il est facile de comprendre, d'après ce que nous avons vu précédemment, que les proportions de réactifs à employer sont fonction des quantités de sels incrustants contenus dans l'eau et que ces réactifs doivent varier suivant la nature de l'eau.

En un mot, la connaissance analytique de l'eau est nécessaire; mais cette condition, pour effectuer une bonne désincrustation, n'est pas suffisante; il faut savoir, de plus, la composition du désincrustant pour agir en connaissance de cause et pouvoir doser ce produit dans son emploi, d'après le résultat analytique de l'eau.

Malheureusement les désincrustants vendus dans le commerce nous sont souvent inconnus, quant à leur composition, ce qui nous empêche, par conséquent, de les employer

en proportions qui conviennent rigoureusement à la nature de l'eau.

Ces produits ne doivent, en tous les cas, être utilisés qu'après avoir fait un essai préalable pratique, qui permette de déterminer la limite de son efficacité et, par suite, les conditions de son emploi.

En dehors de ces désincrustants de composition inconnue souvent complexe, vendus dans le commerce, un grand nombre de substances peuvent être employées en vue de la désincrustation des eaux, qui comporte principalement la préservation de deux sels de calcium : le carbonate et le sulfate.

Nous serons amenés de ce chef à considérer d'abord les eaux calcaires, ensuite les eaux séléniteuses, et enfin des eaux tenant à la fois du carbonate et du sulfate de calcium en solution.

Pour désincruster une eau, on peut se servir de substances minérales de composition bien déterminée, telles que des sels des métaux alcalins, des carbonates, des silicates, des oxalates, des chromates et bichromates, et des aluminates de sodium et de potassium.

On peut encore employer des oxydes des métaux alcalino-terreux, tels que de l'oxyde de calcium, de magnésium et de baryum, ou du chlorure, de l'aluminate et de l'oxalate de baryum.

Il est donc utile de connaître la quantité de chacun de ces réactifs qu'il est nécessaire d'employer pour désincruster une eau, dont on détermine au préalable la composition par un essai hydrotimétrique.

Prenons tout d'abord le cas d'une eau calcaire.

α) EAU CALCAIRE

Considérons la réaction type de la désincrustation d'une eau par l'un des oxydes des métaux alcalins ou alcalino-terreux (potassium, sodium, calcium, magnésium, baryum);

on aura, en représentant par M le métal alcalin ou alcalino-terreux, l'équation :

$$Co^3CaCo^2 + M''O = CO^3Ca + Co^3M''.$$

M″ représentant un corps diatomique.

Dans cette équation, on voit qu'il y a formation et précipitation du carbonate de calcium, par saturation de l'acide carbonique en excès au moyen du réactif oxyde alcalin ou alcalino-terreux.

La détermination des poids moléculaires des différentes substances chimiques minérales désincrustantes, tant pour les oxydes que pour les sels, fournit les quantités de réactif à employer.

A l'aide du tableau ci-dessous, on pourra calculer la quantité de réactif à employer pour désincruster une eau calcaire, en multipliant le nombre correspondant trouvé dans ce tableau par le poids du carbonate de calcium contenu dans l'eau à désincruster.

	Carbonate	Oxalate	Oxyde	Silicate	Aluminate	Chromate	Bichromate
Sodium.......	1,06	1,34	0,62	1,22	6,60	1,625	2,63
Potassium....	1,38	1,66	0,94	1,54	6,92	1,945	2,95
Magnésium ...	»	»	0,40	»	»	»	»
Calcium......	»	»	0,56	»	»	»	»
Baryum	»	»	»	»	7,51	»	»

Dans la pratique, il sera bon de forcer un peu la dose des réactifs à employer; les nombres calculés ci-dessus représentent les oxydes et sels anhydres.

β) EAU SÉLÉNITEUSE

Nous supposerons que l'eau à désincruster contient non seulement du sulfate de calcium, mais encore du carbonate de calcium; nous examinerons les conséquences qu'entraîne la variation de ces deux sels.

Supposons que nous ayons d'abord employé, pour com-

battre le carbonate de calcium, une des substances indiquées dans le tableau précédent ; il nous restera maintenant à se débarrasser du sulfate de calcium.

Deux cas seront à considérer, suivant qu'on aura fait usage de telle ou telle substance pour combattre le carbonate de calcium.

Premier cas. — Les sels : carbonate, silicate, aluminate et les oxydes de potassium ou de sodium, sont les réactifs déjà employés pour combattre le carbonate de calcium.

Considérons d'abord la réaction type relative au carbonate de calcium, que nous avons formulée précédemment :

$$\underbrace{Co^3CaCo^2}_{\text{en solution}} + \underbrace{M''O}_{\text{soluble}} = \underbrace{Co^3Ca}_{\text{insoluble}} + \underbrace{Co^3M''}_{\text{soluble}};$$

nous voyons que la précipitation du carbonate de calcium a pour conséquence la formation d'un carbonate correspondant soluble de formule Co^3M'', si nous admettons pour M la diatomicité.

Ce carbonate soluble peut réagir à son tour sur le sulfate de calcium contenu dans l'eau et amener la précipitation du carbonate de calcium insoluble :

$$Co^3M'' + \underbrace{So^4Ca}_{\text{en solution}} = \underbrace{So^4M''}_{\text{soluble}} + \underbrace{Co^3Ca.}_{\text{insoluble}}$$

Il existe donc un certain rapport entre le sulfate de calcium et le carbonate de calcium pour effectuer complètement la désincrustation.

En effet, par la considération des deux réactions, on voit que, pour une molécule de substance employée comme réactif sur le bicarbonate calcique, il y a formation d'une molécule de carbonate correspondant soluble, qui précipite à son tour une molécule de sulfate de calcium.

D'après cela, tant qu'il y aura formation de carbonate soluble Co^3M'', il y aura précipitation du sulfate de calcium,

ce qui entraîne une limite dans la désincrustation, et cette limite est le rapport des poids moléculaires du sulfate de calcium et du carbonate de calcium, c'est-à-dire le rapport :

$$\frac{So^4Ca}{Co^3Ca} = \frac{36}{100} = 1,36,$$

que nous avons appelé rapport ou coefficient d'incrustation, dans des études antérieures, dans *le Génie Civil* et *la Revue de Chimie industrielle*.

Pour désincruster une eau avec les produits chimiques spécifiés dans le premier cas, nous établirons le rapport des quantités de sulfate de calcium et de carbonate de calcium contenues dans l'eau, déterminées par un essai hydrotimétrique, et nous comparerons ce rapport au coefficient d'incrustation 1,36.

Deux cas peuvent se présenter :

a) RAPPORT DES QUANTITÉS DE SELS CONTENUS DANS L'EAU

$$\frac{So^4Ca}{Co^3Ca} < 1,36$$

Des réactions secondaires que nous avons examinées, il résulte que, dans ce cas, il est inutile d'ajouter de nouvelles quantités de réactifs.

On calculera seulement, d'après le tableau précédent, les quantités de produits chimiques à introduire dans l'eau, de la même manière que pour le carbonate de calcium.

Dans la pratique, on forcera un peu la dose de produit chimique trouvée par le calcul.

b) RAPPORT DES QUANTITÉS DE SELS CONTENUS DANS L'EAU

$$\frac{So^4Ca}{Co^3Ca} > 1,36$$

Dans ce cas, il y aura du sulfate de calcium en excès ; une partie seulement du sulfate de calcium sera précipitée par la réaction chimique secondaire qui intervient, puis on calcu-

lera l'autre partie restant à précipiter pour déterminer la quantité de réactif à ajouter.

On pourra introduire dans l'eau, comme réactif: du carbonate de potassium, de sodium, de magnésium, du chlorure de baryum.

Calculons le poids du sulfate de calcium précipité par le carbonate de calcium formé dans la réaction secondaire; on obtiendra ce poids en multipliant par 1,36 le poids de carbonate de calcium contenu dans l'eau.

Désignons par P le poids total de carbonate de calcium contenu dans l'eau; $P \times 1,36$ sera la quantité totale de sulfate de calcium précipité.

Or, si nous désignons maintenant par π le poids total du sulfate de calcium contenu dans cette eau, il restera encore à précipiter un poids $\pi - (P \times 1,36)$ de sulfate de calcium.

On précipitera avec un des corps contenus dans le tableau ci-dessous ce poids $\pi - (P \times 1,36)$ de sulfate de calcium en excès, en le multipliant par le nombre constant trouvé dans le même tableau et correspondant à la substance avec laquelle on veut désincruster.

Carbonate de sodium	0,779
— potassium	1,001
— magnésium	0,617
Chlorure de baryum	1,529

Si μ représente le multiplicateur, trouvé dans le tableau précédent, pour la substance employée, le poids de ce réactif à introduire dans l'eau pour combattre ce sulfate de calcium sera donné par la formule :

$$(\pi - 1,36P)\,\mu.$$

Deuxième cas. — Les sels : oxalate, chromate et bichromate de potassium et de sodium, et l'aluminate de baryum, sont les réactifs déjà employés pour combattre le carbonate de calcium.

Nous sommes en présence d'une eau qui contient, en dehors du carbonate de calcium, une quantité notable de sulfate de calcium.

En employant les substances chimiques spécifiées dans ce deuxième cas, nous ne considérons pas d'actions secondaires.

On ajoutera dans l'eau, en plus du poids de la substance introduite primitivement pour combattre le carbonate de calcium, une autre quantité de cette même substance, obtenue en multipliant le poids du sulfate de calcium contenu dans l'eau par le multiplicateur de cette substance indiquée dans le tableau ci-dessous.

Oxalate de potassium	1,220
— sodium	0,985
Chromate neutre de potassium	1,430
— sodium	1,194
Bichromate de potassium	2,169
— sodium	1,933
Aluminate de baryum	5,521

§ 4. — LOCALISATION DANS DES DISPOSITIFS SPÉCIAUX AUX GÉNÉRATEURS ET TRAITEMENT PRÉALABLE DES EAUX PAR LA VAPEUR

Pour remédier aux inconvénients résultant des dépôts, les chaudières sont souvent munies de dispositifs spéciaux, placés en des points convenablement choisis, ayant pour but de recueillir les produits en suspension dans l'eau, ou provenant de la décomposition des sels alcalino-terreux.

Dans les parties de la chaudière non exposées à l'action directe du foyer, la précipitation peut se faire sans adhérence.

PHÉNOMÈNE DE DÉCANTATION PAR ÉBULLITION

Si l'on fait bouillir de l'eau, contenant du sable, dans une marmite, et que l'on y plonge, à peu de distance de la surface du liquide, une petite capsule; on constate qu'au

bout de quelques instants tout le sable a passé dans la capsule.

Ceci résulte de ce que l'eau située en dehors de la capsule est soumise à une agitation violente, qui entraîne les particules de sable et les maintient en suspension.

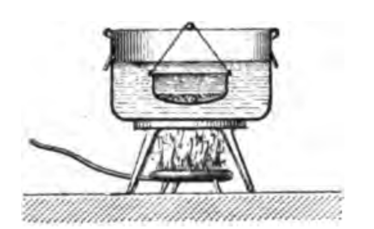


Fig. 7. — Démonstration de la décantation par ébullition.

Ces particules de sable sont attirées et tombent dans la capsule, car, dans la partie du liquide qu'elle renferme, il ne se produit aucune agitation.

Un certain nombre de dispositifs repose sur cette observation.

Appareil Schmitz. — Dans l'appareil Schmitz, par exemple, on dispose des portions de cylindre de tôle mince, à une petite distance des parois du générateur.

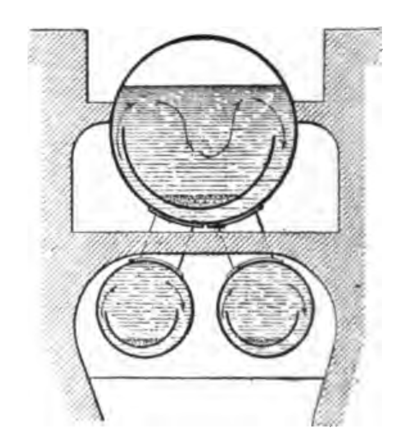


Fig. 8. — Appareil Schmitz.

Ces cylindres sont placés de façon que les distances aux parois soient inégales et qu'une partie soit plus étroite que l'autre.

Collecteur de dépôts système Dulac. — Dans la chaudière Dulac, les dépôts calcaires, par suite de leur densité, supérieure à celle de l'eau, descendent dans des collecteurs ou cavités situées convenablement dans l'intérieur du générateur.

Ces actions sont facilitées par les courants ascendants et descendants, qui se produisent dans l'eau.

Les récipients sont constitués par des petits vases, en

tôle mince, ouverts à leur partie supérieure, qu'il est facile d'enlever pour procéder au nettoyage.

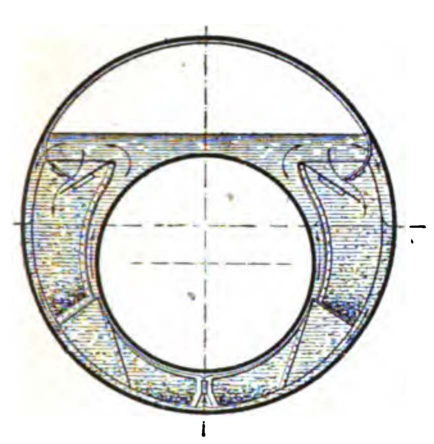


Fig. 9. — Collecteur de dépôts, situés dans une chaudière à foyer intérieur. — Collecteurs Dulac (coupe transversale).

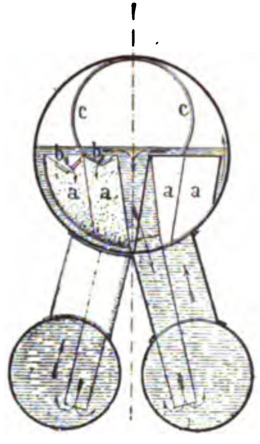


Fig. 10. — Collecteur de dépôts situés dans une chaudière à bouilleur. — Collecteurs Dulac (coupe transversale).

Un clapet de retenue est fixé à la partie supérieure de chaque collecteur, afin d'empêcher la sortie des dépôts, qui viendrait à se produire par une circonstance, telle que l'ébullition tumultueuse du liquide.

Pour les chaudières à bouilleurs, les collecteurs sont disposés dans le corps cylindrique supérieur ; sur la figure, on distingue nettement les boîtes *a*, *a*, surmontées de leurs clapets *b*, *b*, de retenue.

Le système précédent est aussi appliqué au tube des chaudières Field.

C'est une espèce de récipient allongé, ouvert à la partie supérieure, dans lequel pénètre le tube en son milieu.

Il se forme, par conséquent, un espace annulaire, où le liquide est calme, et qui sert à recueillir les dépôts.

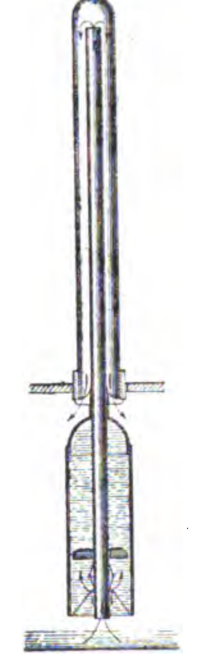


Fig. 11. — Tube de la chaudière Field, avec système Dulac.

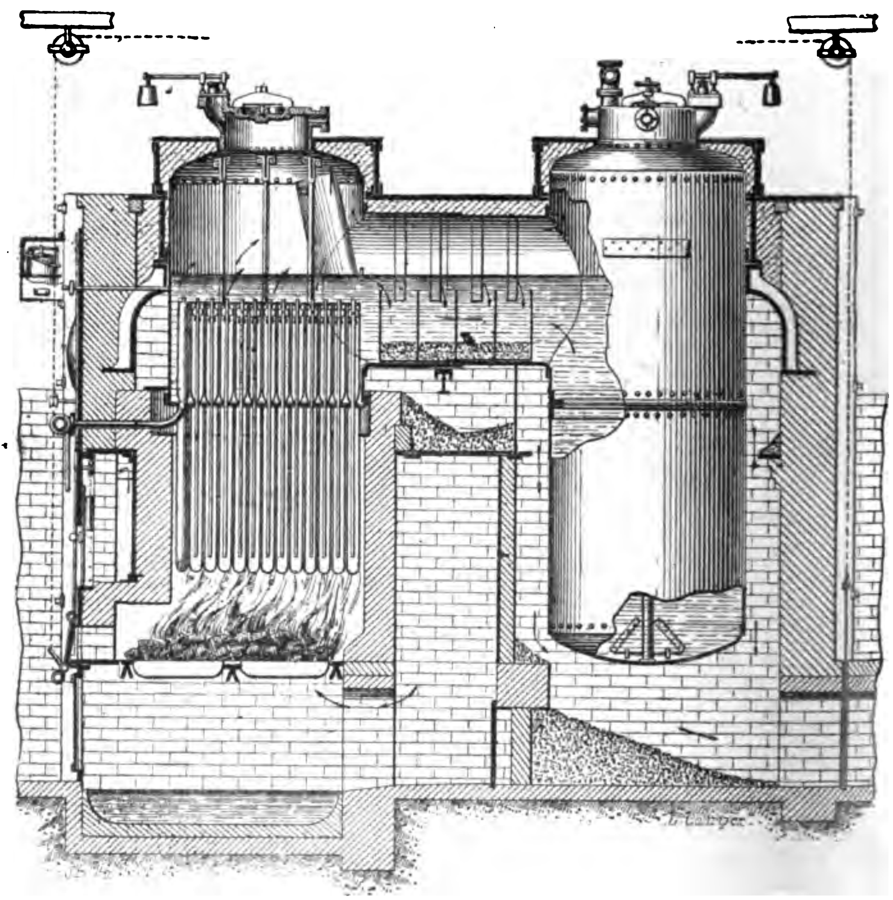


Fig. 12. — Chaudière Dulac.

Collecteur épurateur d'alimentation Belleville. — Les générateurs Belleville, qui forment le gros contin-

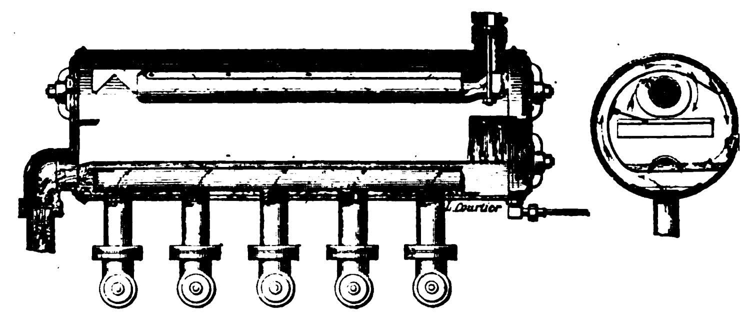


Fig. 13. — Collecteur épurateur d'alimentation (système Belleville).

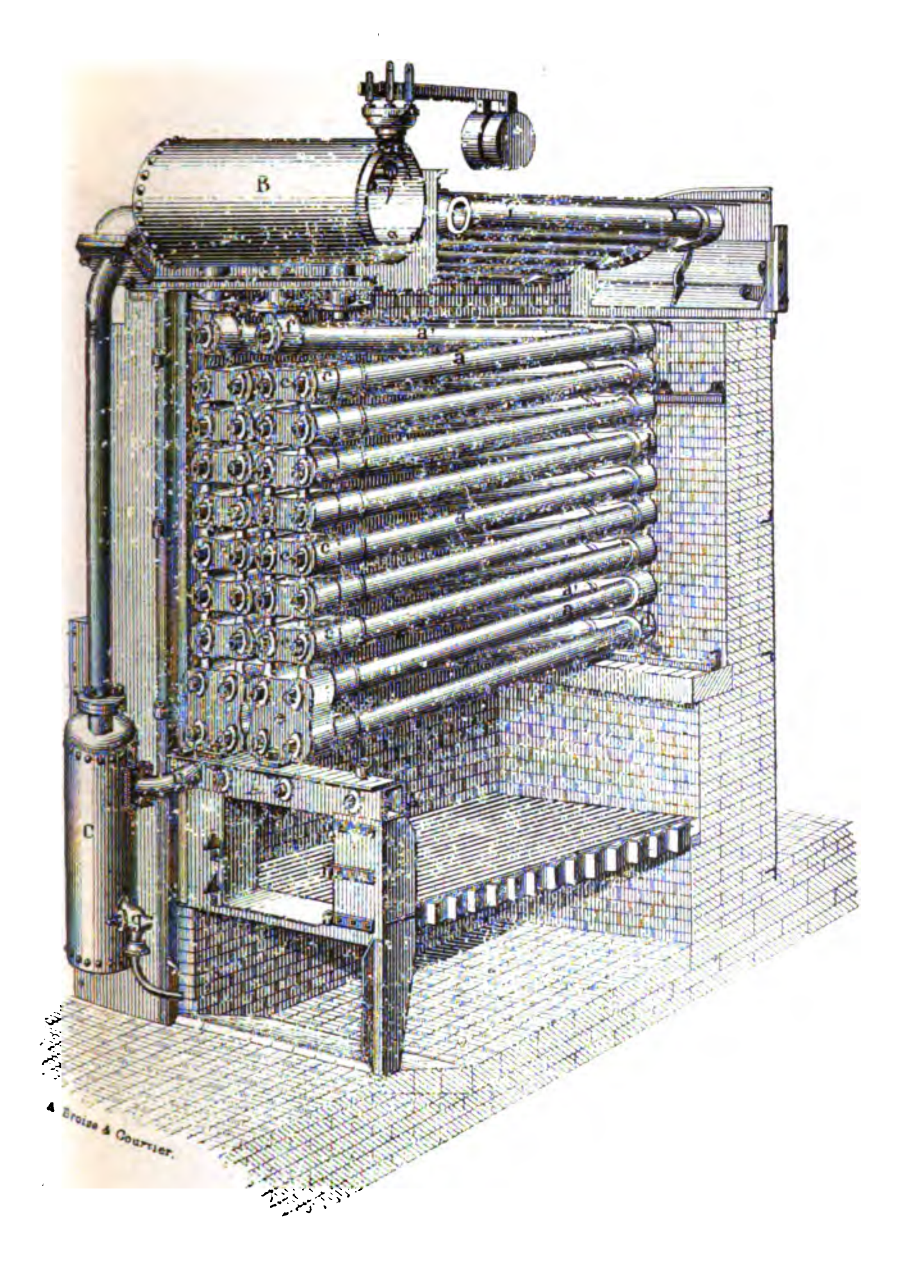


Fig. 14. — Épurateur Belleville coupe et vue en perspective.

gent des appareils producteurs de vapeur de notre Marine nationale, sont munis d'un appareil déjecteur, appareil spécial d'épuration.

La décantation des matières solides s'effectue avec facilité; car, dans les endroits où elle a lieu, l'eau n'est soumise à aucune agitation.

Cet appareil a pour but d'injecter de l'eau pulvérisée dans la vapeur des générateurs multitubulaires, à haute pression.

Les sels calcaires sont alors précipités, sous forme de boue, dans un débourbeur qu'on peut nettoyer facilement.

L'eau chaude sort du collecteur BB par un tuyau *l*, qui pénètre à la moitié de la hauteur du déjecteur C.

Ce déjecteur est formé par un simple récipient, dans lequel l'agitation est très faible, ce qui permet d'y recueillir les dépôts, qu'on peut, du reste, expulser par un robinet spécial.

Non seulement les chaudières de Belleville sont des plus avantageuses, parce qu'elles permettent de réduire le volume d'eau et, par suite, d'éviter les dangers d'explosion, mais encore de répartir l'eau par un collecteur d'alimentation qui permet d'effectuer l'épuration de l'eau.

Des expériences faites avec un déjecteur Belleville ont donné les résultats suivants :

COMPOSITION DE L'EAU PAR LITRE	EAU naturelle	EAU après passage au déjecteur	SELS précipités
	grammes	grammes	
Carbonate de chaux	0,600	0,010	83 0/0
Sulfate de chaux	0,336	0,014	96 0/0
Magnésie	0,012	0,012	0 0/0
	0,408	0,036	

On voit, d'après ce tableau, que le déjecteur est parvenu, à la suite de ces expériences, à éliminer 96 0/0 du sulfate de calcium, corps éminemment incrustant, ce qui est un résultat des plus satisfaisants.

Disposition de la chaudière de Naeyer. — Avec les générateurs de Naeyer, l'alimentation est faite directe-

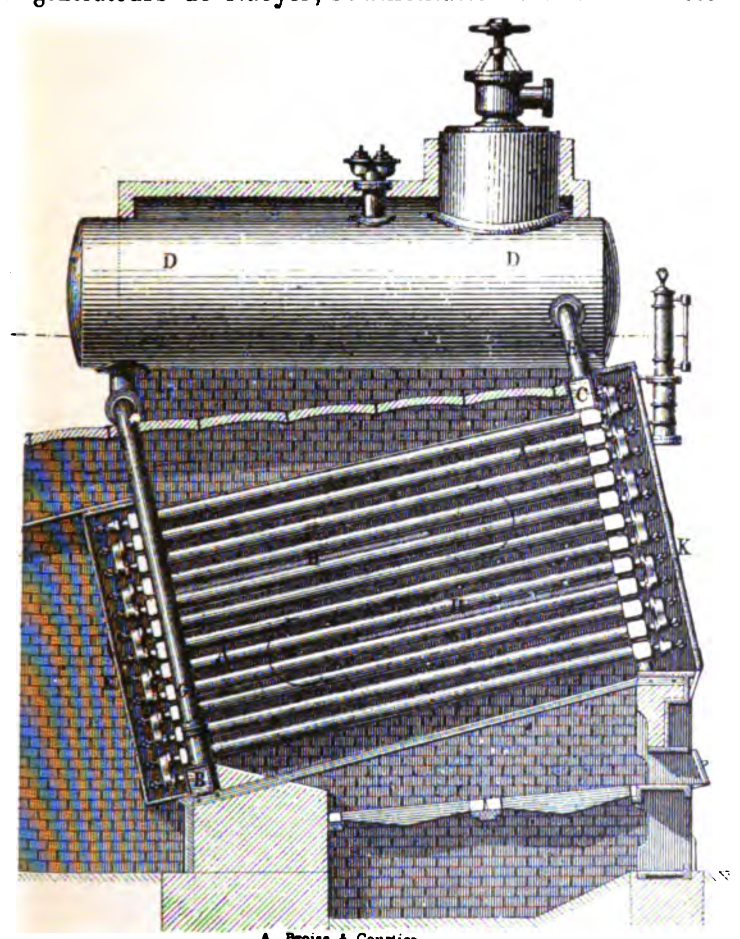


Fig. 15. — Chaudière de Naeyer (vue perspective).

ment par un dispositif approprié dans le courant de vapeur qui sort du collecteur supérieur C; la plus grande partie des sels contenus dans l'eau peut donc se précipiter presque immédiatement.

Les dépôts calcaires sont recueillis sous forme de boue, dans un décanteur spécial DD, et l'eau va ensuite, dans le collecteur d'alimentation B, par un tuyau de trop-plein.

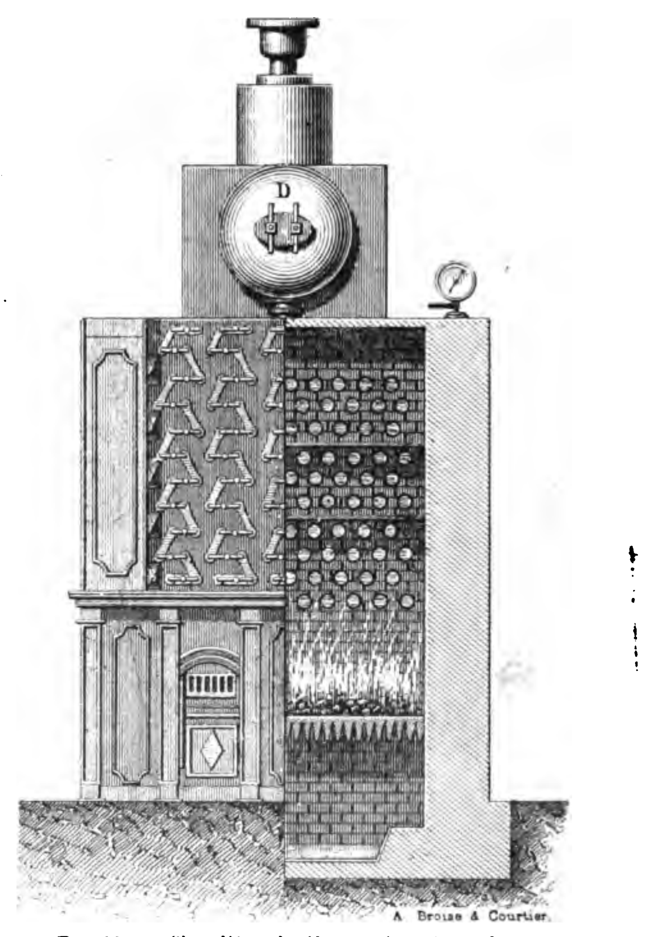


Fig. 16. — Chaudière de Naeyer (vue latérale).

Disposition du générateur Montupet. — Le générateur multibulaire, système Montupet, se compose essentiellement : 1° d'un faisceau tubulaire, incliné de l'avant à l'arrière, constituant un nombre variable d'éléments ; 2° de collecteurs en fer forgé, où sont réunis les tubes à l'avant et à l'arrière ; 3° d'un réservoir supérieur d'eau et de vapeur, communiquant avec les collecteurs d'avant ; 4° d'un déjecteur ou réservoir de dépôts communiquant avec les collecteurs d'arrière.

On alimente le générateur Montupet à l'avant du réservoir supérieur, au niveau de l'eau.

L'alimentation peut se faire, de préférence dans la vapeur; de cette façon, l'eau arrive aux deux gros tubes de retour à une température supérieure à + 165°.

Les sels incrustants : sulfates et carbonates alcalinoterreux, sont précipités et ensuite entraînés par la circulation active produite dans le générateur, puis ces sels se déposent dans le décanteur d'arrière.

Dans ce décanteur se trouve, de chaque côté, une tôle, en forme de V renversé où s'accumulent les dépôts. Entre la tôle et le décanteur, un vide de 20 millimètres permet l'écoulement des dépôts à la base du décanteur. Ces dépôts se dirigent vers l'axe du décanteur, où ils arrivent, au contact d'un tube, longeant le décanteur et présentant une ouverture à sa partie inférieure, suivant une génératrice.

Ce tube est muni d'un robinet de vidange servant à l'évacuation des boues.

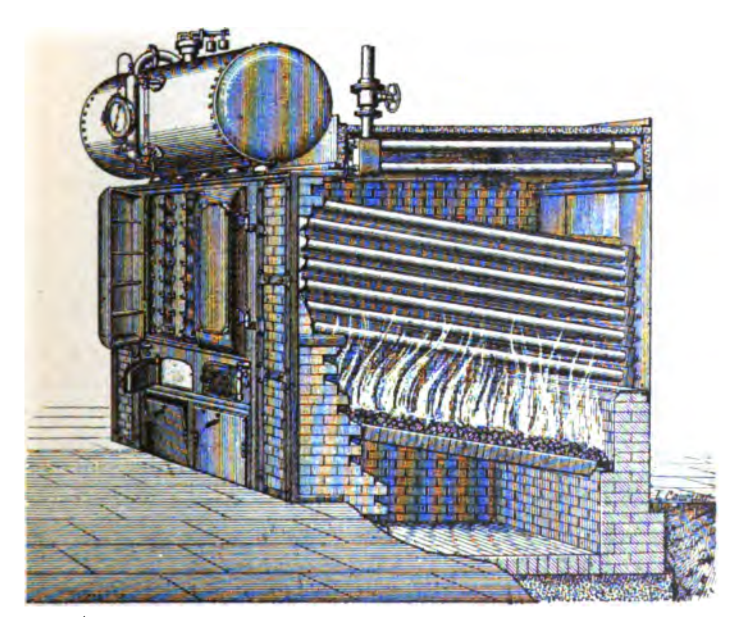


Fig. 17. — Chaudière Collet (vue perspective).

Disposition de la chaudière Collet. — Dans la chaudière Collet, l'eau précipite aussi une partie de ses sels, en pénétrant dans le réservoir à vapeur, où elle commence à se réchauffer.

Les boues précipitées s'accumulent dans une poche très ouverte à l'avant, qui termine la partie inférieure du collecteur, où la circulation de l'air est la moins active.

Disposition de la chaudière Serpollet. — La chaudière Serpollet est formée d'un serpentin de cuivre, d'acier doux, ou de laiton qu'on passe au laminoir.

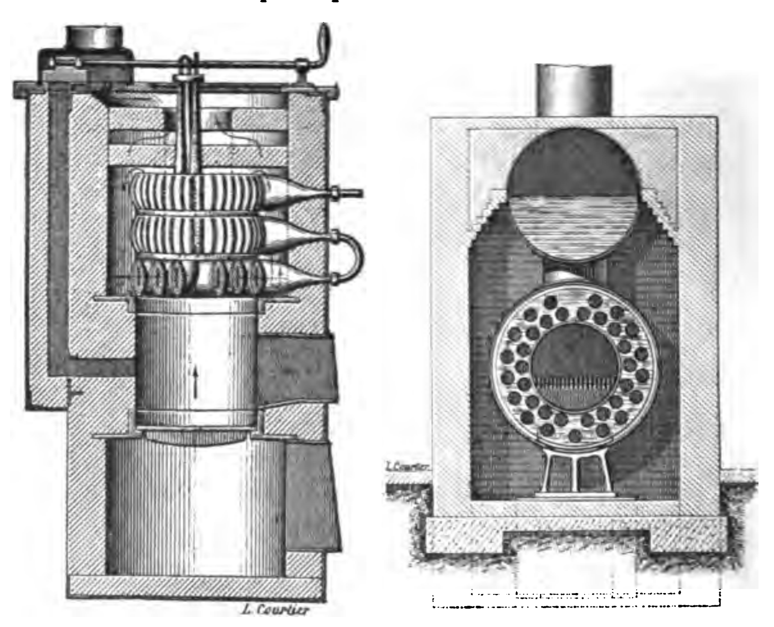


Fig. 18. — Chaudière Serpollet (coupe verticale).

Fig. 19. — Chaudière Weyher et Richemond (coupe transversale).

La vaporisation s'y fait très rapidement, et la vitesse du courant est si grande que les matières ne peuvent s'arrêter dans le serpentin.

Cependant on peut, à l'aide d'un robinet inverseur, envoyer le courant en sens inverse, qui permet d'effectuer, si c'est utile, un nettoyage complet.

Nous ne pouvons passer sous silence les chaudières Weyher et Richemond de Pantin, munies de leurs dispositifs, qui jouissent d'une certaine réputation, et nous repré-

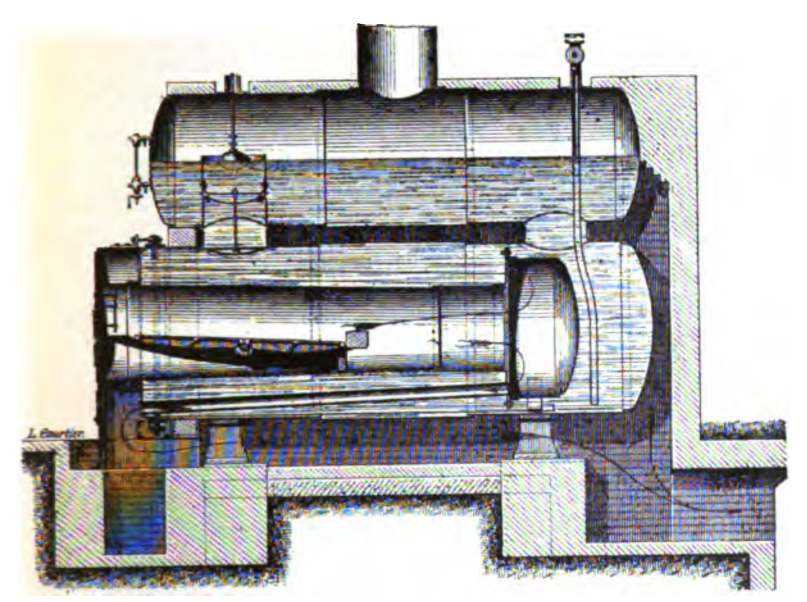


Fig. 20. — Chaudière Weyher et Richemond (coupe longitudinale).

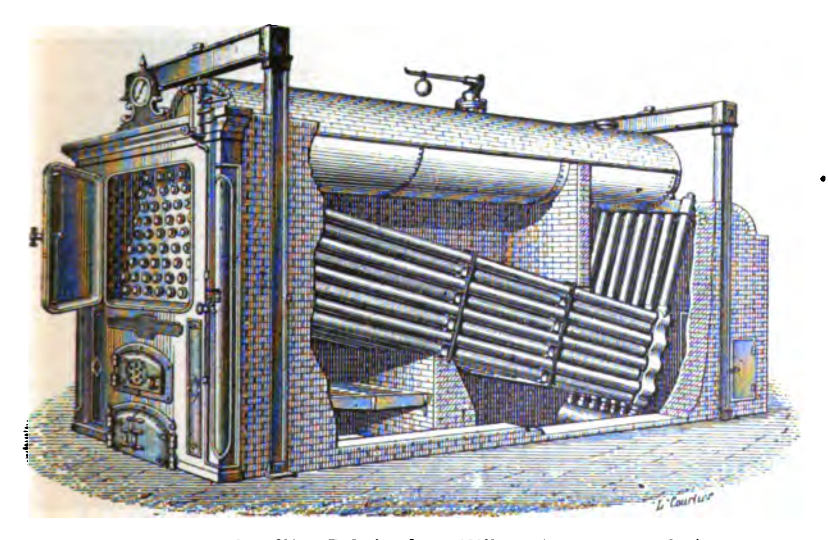


Fig. 21. — Chaudière Babckock et Wilcox (vue perspective).

sentons deux coupes, l'une longitudinale, l'autre transversale, du type de générateur à foyer amovible.

Enfin nous citerons les chaudières Babckock et Wilcox, dont nous donnons une vue en perspective et le détail des assemblages.

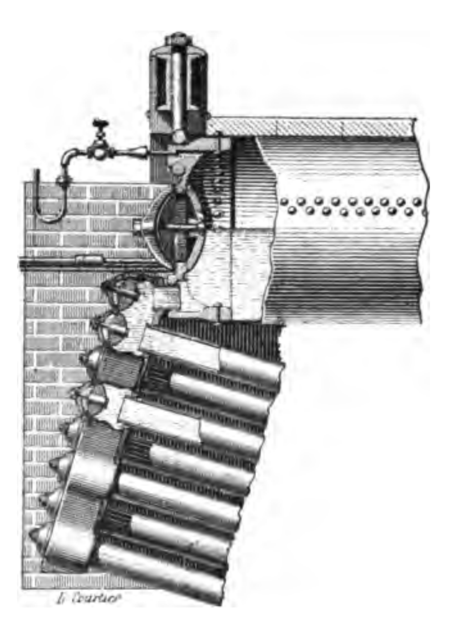


Fig. 22. — Détail des assemblages des tubes de la chaudière Babckock et Wilcox.

Ne pouvant entreprendre la description de tous les dispositifs spéciaux, nous avons cité les principaux types qui nous paraissent les plus intéressants à retenir.

Décrivons maintenant quelques appareils, pour le traitement préalable des eaux par la vapeur, qui forment les principaux types.

Épurateur d'eau par la vapeur d'échappement système Buron. — L'appareil Buron permet de précipiter les carbonates alcalino-terreux de l'eau, tout en réchauffant l'eau, qui peut être utilisée avantageusement, dans ces conditions, à l'alimentation des générateurs de vapeur.

Cet épurateur, par réchauffement de l'eau, se compose d'un purgeur d'huile F, dans lequel pénètre la vapeur d'échappement, amenée par le tuyau vertical A.

La vapeur se détend dans le purgeur, circule autour des chicanes, en abandonnant son huile et de l'eau de condensation, qui s'écoulent par un tuyau siphon, communiquant avec la partie inférieure du purgeur d'huile.

Ensuite la vapeur passe dans un tuyau collecteur, muni

d'une série de tubes KK, plongeant légèrement dans l'eau.

Cette eau est alors réchauffée et continuellement remuée par la vapeur, dont l'excès s'échappe par le tuyau B.

L'eau froide arrive en C, par un tuyau muni d'un robinet commandé par le flotteur G, situé dans le réservoir d'eau traitée; ce flotteur suit, par conséquent, les variations de niveaux de l'eau traitée, et, par suite, l'eau froide est distribuée pour être soumise au traitement suivant le besoin.

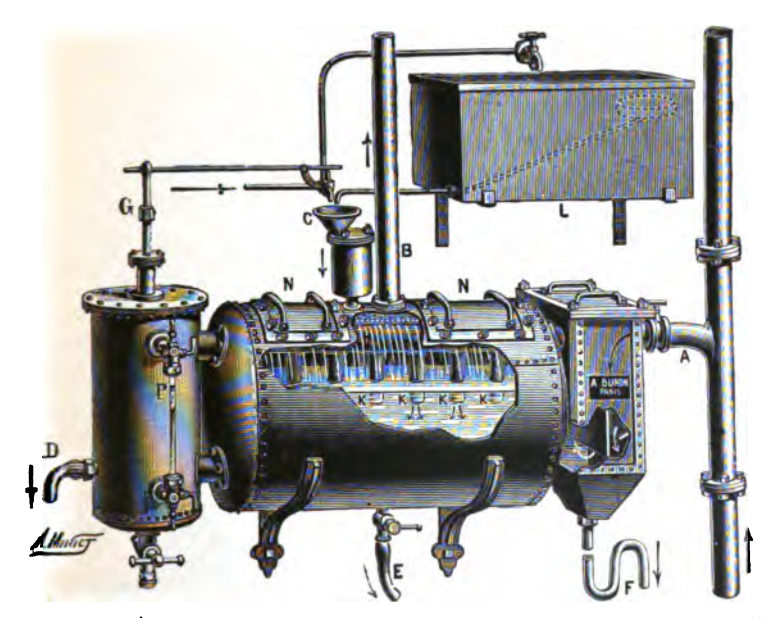


Fig. 23. — Épurateur d'eau par la vapeur d'échappement (système Buron).

Cette eau froide tombe dans l'entonnoir C et s'écoule par une rigole perforée, permettant à l'eau de se déverser en plusieurs filets liquides, qui rencontrent la vapeur sortant des tubes du collecteur.

L'eau s'échauffe ainsi facilement; la masse liquide se débarrasse des sels alcalino-terreux, qui précipitent, et elle est réchauffée à une température voisine de 100°.

Les boues sont évacuées, par le robinet de vidange E, et

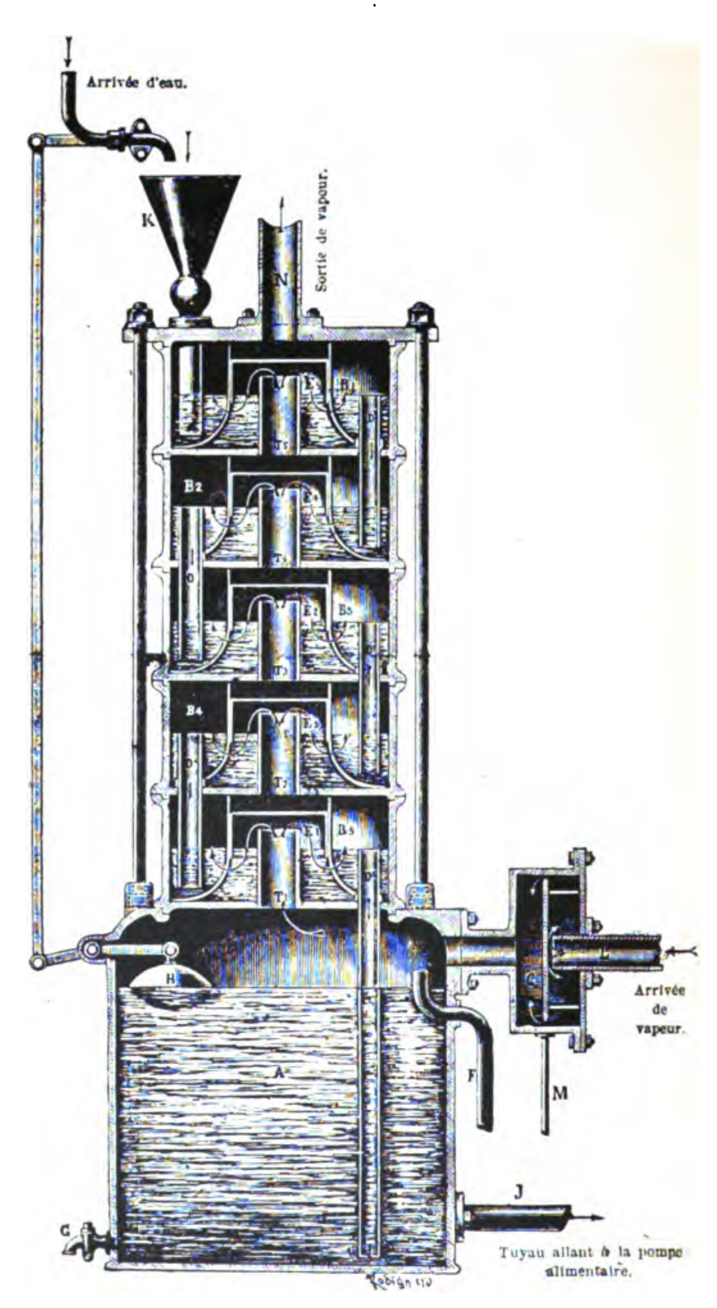


Fig. 24 — Réchauffeur-détartreur Chevalet.

de plus, des trous d'homme, situés à la partie supérieure, permettent encore le nettoyage intérieur de l'appareil.

Dans le cas d'une eau, contenant, en outre, du sulfate de calcium, on dispose un petit bac L, renfermant du carbonate de sodium, afin de précipiter le sulfate.

Réchauffeur-détartreur Chevalet. — En employant cet appareil, on peut chauffer, à 100° environ, l'eau à employer.

Les eaux calcaires, comme l'eau de Seine, se traitent facilement ; leur degré hydrotimétrique, 18°, passe à 5° environ, et si l'on veut pousser plus loin cet abaissement, il suffit d'ajouter à l'eau un peu de carbonate de sodium.

Le réchauffeur-détartreur Chevalet se compose essentiellement d'un réservoir d'eau froide A, d'une colonne détartrante B, sur laquelle viennent se déposer les sels calcaires, et d'un purgeur d'eau grasse, C.

En marche, l'eau arrive par un robinet dépendant d'un flotteur H, qui suit le niveau de l'eau chaude contenue dans le réservoir A.

Cette eau pénètre dans le haut de la colonne détartrante B par un entonnoir K, placé à la partie supérieure de l'appareil, puis vient prendre son niveau dans la cuve B_1.

De là, elle redescend par un trop-plein D_1 dans une deuxième cuve B_2, qu'elle remplit en partie, ensuite elle redescend par son trop-plein D_2 dans une troisième cuve B_3, et ainsi de suite.

A la sortie de la dernière cuve, l'eau arrive finalement dans le réservoir d'eau chaude A, après avoir suivi une marche descendante.

Pendant sa descente, l'eau est rencontrée par un courant ascendant provenant de la vapeur d'échappement.

La vapeur passe d'abord dans un purgeur de graisse C, qui sépare l'eau grasse entraînée ; puis elle continue son trajet, pénètre par le tuyau central T_1 sous la calotte E_1 et barbotte dans l'eau de la cuve B_3 ; de là elle monte par le

tuyau central T_2, sous la calotte supérieure B_2 de la cuve E_2, et ainsi de suite.

Finalement, la vapeur d'eau arrive dans la cuve B_1, située à la partie supérieure, et, si elle est en excès, elle s'échappe à l'air libre par un tube de sortie N.

Dans son parcours, la vapeur barbotte dans l'eau des différents étages de la colonne détartrante, elle se condense, et l eau est alors réchauffée et portée à l'ébullition.

Cet appareil est combiné, pour être démonté facilement et afin de pouvoir procéder à un nettoyage et à l'enlèvement du tartre.

Déjecteur Duméry. — L'emploi de cet appareil repose sur ce que, l'eau portée à l'ébullition entraîne les particules solides en suspension vers la partie supérieure du liquide.

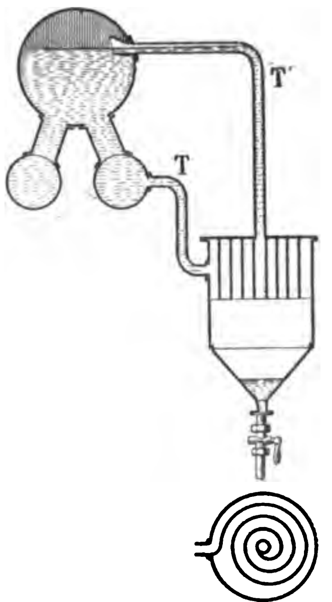


Fig. 25. — Déjecteur Duméry.

Ces particules solides, provenant de la décomposition des sels calcaires, restent assez longtemps en suspension avant de se déposer, pour permettre de les recueillir dans un appareil annexe de la chaudière, comme le déjecteur Duméry.

Il se compose d'une boîte métallique, présentant dans son intérieur plusieurs cloisons, disposées pour la retenue des corps solides.

Dans les chaudières à bouilleur par exemple, cet appareil est intercalé entre la chaudière et les bouilleurs, en faisant communiquer le haut du déjecteur avec un conduit venant aboutir à la chaudière dans la partie supérieure où se trouvent les matières en suspension.

Ces matières sont alors entraînées dans ce tuyau jusqu'à l'appareil, où il s'établit une circulation prolongée par les cloisons qui provoquent le dépôt des matières solides.

L'eau ainsi traitée sort de l'appareil par un tuyau qui la conduit dans le générateur.

Appareil Schau. — Cet appareil est basé sur la précipitation par la chaleur des sels calcaires contenus dans l'eau.

L'eau est envoyée dans un dôme, où elle tombe en pluie fine sur des palettes, formant cuves, disposées à l'inverse l'une de l'autre et placées à différentes hauteurs.

En faisant communiquer l'appareil avec la chaudière, la vapeur pénètre à l'intérieur, échauffe l'eau et précipite les sels calcaires, qui tombent au fond du dôme.

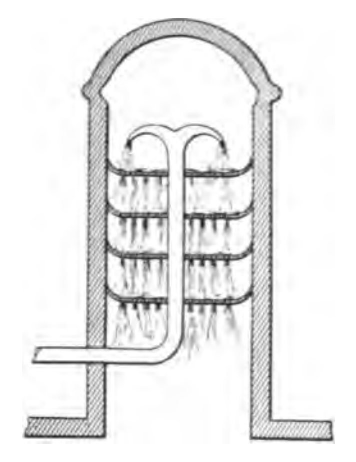


Fig. 26. — Appareil Schau.

L'eau se déverse ensuite dans la chaudière par un tuyau de trop-plein.

Condenseur à air libre Montupet. — Le condenseur à air libre Montupet permet de condenser tout ou partie de la vapeur d'une machine quelconque, afin d'épurer et chauffer à près de 100° l'eau dont on a besoin pour l'industrie.

Cet appareil, extrêmement simple et pratique, se compose d'un réservoir à eau chaude en tôle G, muni d'un grand tampon de nettoyage L et d'un couvercle boulonné.

Un tuyau d'échappement S, fixé sur le couvercle boulonné, est perforé à la partie inférieure et terminé à sa base par une pièce en fonte portant un regard K.

Cette pièce en fonte supporte le tuyau H d'arrivée d'eau,

terminé par une pomme d'arrosoir et muni d'un robinet G fonctionnant par un flotteur F, qui suit le niveau de l'eau chaude dans le réservoir G.

Un purgeur d'eau grasse à coke B, placé sur le côté du réservoir C, est muni d'une crépine dans laquelle entre la vapeur d'échappement; un robinet est placé à la partie inférieure pour l'extraction de l'huile, et dans le haut se trouve un tampon de nettoyage.

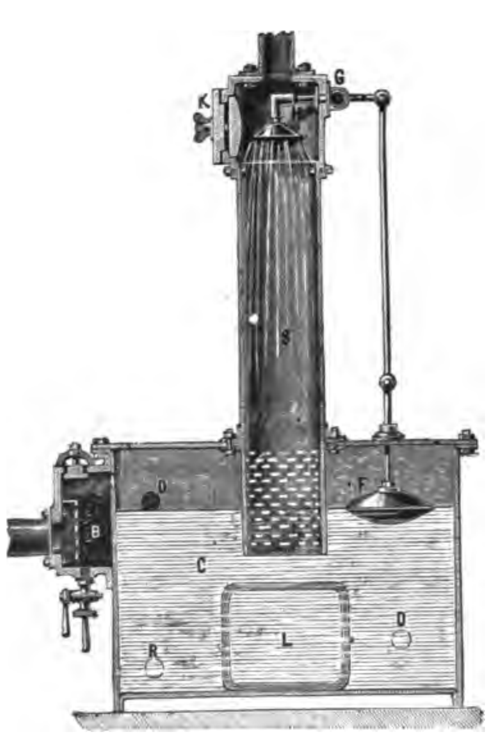


Fig. 27. — Condenseur à air libre Montupet.

La vapeur d'eau pénètre d'abord dans le purgeur d'eau grasse B, où elle se débarrasse de son huile après avoir traversé le coke ; elle sort dans le haut du réservoir C, où elle commence à échauffer son eau.

Elle s'échappe par les trous disposés à la base du tuyau S et monte dans ce tuyau, où elle rencontre l'eau en sens contraire, qui tombe en pluie fine par l'action du flotteur F.

En rencontrant la vapeur, l'eau se trouve brusquement chauffée à la température de 100°, et le carbonate de chaux se précipite et tombe au fond du réservoir G, qu'on enlève par le tampon L.

L'eau, ainsi débarrassée de son sel calcaire, sort par le trop-plein O, par où elle est alors puisée.

Appareil Lencauchez. — Cet appareil comporte d'abord un dégraisseur, où la vapeur d'échappement des machines se rend pour se débarrasser des matières grasses et de l'eau de condensation qu'elle a pu entraîner.

Ainsi traitée, la vapeur pénètre dans un cylindre métallique formant épurateur et suit une marche ascendante.

L'eau contenue dans un réservoir situé à la partie supérieure sort par un tuyau de trop-plein, pénètre dans le haut de la capacité cylindrique de l'épurateur et rencontre une série de cônes qui la divisent.

Ces cônes sont disposés de telle façon que les bases de deux cônes successifs sont à l'opposé l'une de l'autre, si bien que l'eau se trouve d'abord éloignée du sommet, vers les parois du cylindre épurateur, puis ramenée vers le centre par le cône suivant, d'où elle sort par son sommet, qui se trouve percé pour cet effet, et ainsi de suite.

L'eau subit donc ainsi une grande division en différents filets, qui sont rencontrés dans leur descente par le courant ascendant de vapeur, qui suit un mouvement inverse de celui de l'eau et se condense.

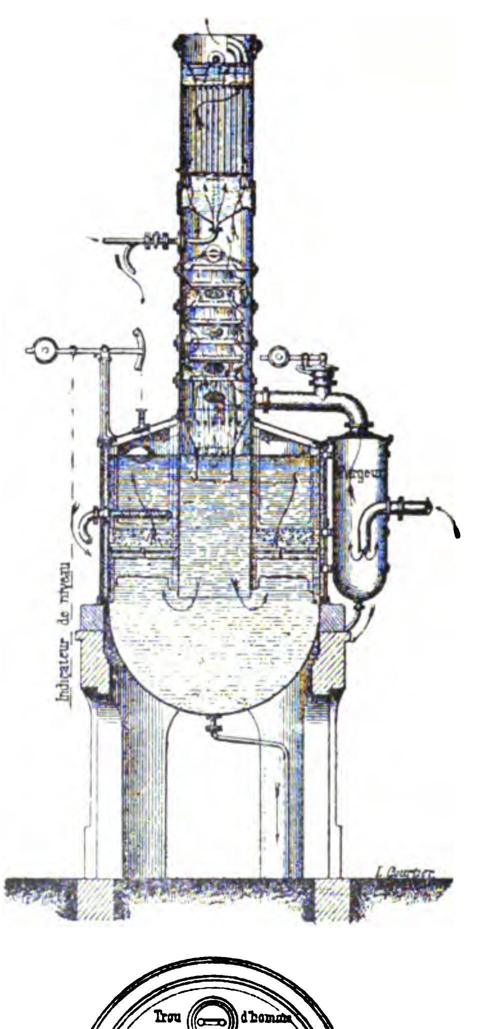
En s'échauffant ainsi, à une température voisine de 100°, l'eau abandonne son acide carbonique, et le carbonate de calcium est précipité.

Après s'être décantée dans le réservoir inférieur, l'eau se débarrasse de ses matières en suspension en suivant une marche ascendante à travers un filtre composé de petits graviers.

L'eau sort par une ouverture située au-dessus du filtre et à 2 ou 3 mètres au-dessus des pompes alimentaires, pour qu'elles puissent fonctionner en charge sur l'aspiration.

Pour se servir de l'appareil Lencauchez, avec de la vapeur vive, on la fait passer d'abord dans un détendeur; dans ce cas, la précipitation des sels alcalino-terreux est poussée plus loin, car elle se fait vers 120°.

Ajoutons que, pour bien débarrasser l'eau du sulfate de calcium qui y est contenu, en employant soit la vapeur vive,



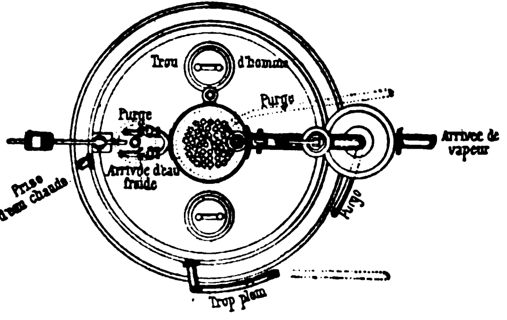


Fig. 28. — Appareil Lencauchez (Plan et coupe).

soit la vapeur d'échappement, il est bon d'ajouter un peu de carbonate de sodium.

Pour nettoyer le filtre et vidanger l'épurateur, on ouvre le robinet placé à la partie inférieure du réservoir, et, comme l'eau se trouve en charge, elle sort avec force et produit, par suite, le nettoyage de l'appareil.

Épurateur-détartreur Howatson. — Le but de cet appareil est de provoquer les dépôts de carbonate alcalino-terreux, avant l'introduction de l'eau dans les générateurs.

L'épurateur-détartreur Howatson est formé d'un réservoir cylindrique dans lequel se trouvent des colonnes disposées en étages ; l'eau arrive par un robinet situé sur la colonne montante et commandé par un flotteur qui règle l'admission de l'eau dans l'appareil.

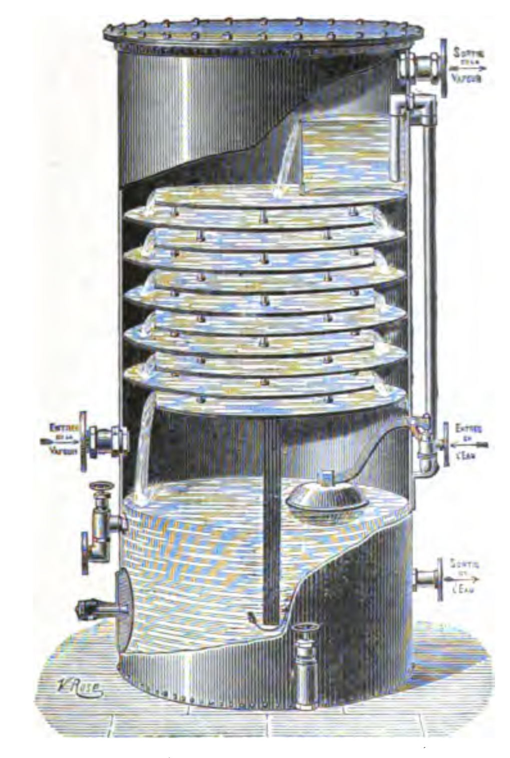


Fig. 29. — Épurateur-détartreur Howatson.

Cette eau remplit un petit bac, placé intérieurement dans la partie supérieure du détartreur, et se déverse en nappes minces sur la première cloison et passe successivement sur chacune d'elles.

Dans son parcours, l'eau rencontre de la vapeur qui vient en sens contraire par son ouverture d'admission, l'eau pré-

sentant une faible épaisseur est portée immédiatement à l'ébullition et se débarrasse ainsi de ses carbonates alcalino-terreux, qui se déposent sur les cloisons.

Après ce traitement, l'eau se rend à la partie inférieure, sur laquelle le flotteur suit son niveau et règle son débit.

Au-dessous de l'ouverture de l'entrée de la vapeur, se trouve un robinet servant à la purge des matières grasses.

Une ouverture ménagée à la partie supérieure du réservoir sert à l'échappement de la vapeur; enfin un trou à main et un robinet de vidange sont disposés pour l'évacuation des dépôts[1].

§ 5. — DE LA VIDANGE, APRÈS REFROIDISSEMENT COMPLET, AU POINT DE VUE DE LA DÉSINCRUSTATION DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

La texture, la forme et la dureté des incrustations sont étroitement liées à des conditions physico-chimiques.

L'observation de certains phénomènes permet de concevoir des procédés d'amélioration notable, dans la marche quantitative et qualitative des dépôts incrustants.

Des expériences ont montré que les phénomènes physiques du refroidissement de l'eau des générateurs de vapeur avaient une grande influence sur le dépôt et la dureté des incrustations.

Du reste M. Savreux, ancien contrôleur des mines à Amiens, a pu faire, avec M. Schmidt, certaines constatations qui ont fait l'objet de notes au « Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur » et à la « Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale ».

Le procédé, qui peut être suivi dans le but de désincruster des chaudières par la vidange, après refroidissement, repose sur ce qu'il a été constaté que, après un refroidissement complet du générateur qui dure environ huit jours :

1. Voir notes complémentaires, p. 309.

1° L'eau de vidange provoque l'entraînement de la plus grande partie des dépôts boueux;

2° Les dépôts restant adhèrent faiblement aux parois des générateurs.

Tout revient donc, pour réaliser le procédé, à refroidir l'eau d'une façon graduelle et avec la plus grande rapidité; puis à enlever les boues déposées par un raclage, avant qu'elles ne puissent durcir par une source de chaleur extérieure.

A l'usine de Montières, M. Savreux a pu constater que ce procédé fournissait de bons résultats; mais malheureusement son application exige deux conditions :

1° La possibilité de vider sans pression;

2° La possibilité d'arrêter un générateur une huitaine de jours (durée du refroidissement).

La première des conditions est absolument nécessaire, et elle n'a généralement lieu que pour les générateurs enterrés; quant à la deuxième condition, il peut être pris des dispositions spéciales, suivant l'organisation et le travail de l'usine, permettant de remédier à cet inconvénient.

A la Société anonyme linière d'Amiens, M. Dubos a fait une remarque, qui conduit à considérer qu'après complet refroidissement de la chaudière, en scindant les vidanges, les dépôts se détachent moins facilement, un quart d'heure après une vidange.

Une demi-heure après la mise à sec, les dépôts deviennent durs et adhérents aux tôles.

Lorsqu'on peut vider les générateurs, sans pression, et qu'il y a une chaudière de relais, il est possible d'éviter l'adhérence des incrustations, produites par les eaux de rivière et de puits, dans les chaudières à bouilleurs et tubulaires.

Pour cela, après refroidissement complet, il faut procéder à une vidange et nettoyer chaque fraction de chaudière, aussitôt après la vidange, dans un délai inférieur à une demi-heure, une fois la mise à sec.

Ensuite, on peut pratiquer des opérations secondaires, telles que le renouvellement de l'eau, pour activer le refroidissement, le lavage à la lance, pour les chaudières tubulaires, enfin le grattage immédiat des dépôts encore humides.

Toutes ces opérations ont pour but de faciliter l'application du procédé.

§ 6. — LES EAUX CORROSIVES ET INCRUSTO-CORROSIVES

DES CORROSIONS EN GÉNÉRAL PROVOQUÉES PAR L'EAU

En général, les eaux naturelles sont corrosives, mais à un degré plus ou moins grand : en effet, par les gaz carbonique et oxygène qu'elles tiennent en solution, elles sont susceptibles de produire des corrosions très appréciables, même si elles ne renferment pas de matières salines.

Cependant, lorsque l'eau contient des matières salines ou acides, le pouvoir corrosif résultant de ces corps s'ajoute à celui des gaz carbonique et oxygène.

Un morceau de fer poli, ou de l'acier, ne se rouille pas dans l'eau pure; et la présence du gaz carbonique ou d'un corps semblable paraît être nécessaire pour provoquer son oxydation.

Dans la formation ordinaire de la rouille, du carbonate ferreux semble tout d'abord se former au détriment du fer; puis se dissoudre dans l'eau, à la faveur de son acide carbonique, pour donner du bicarbonate ferreux.

Ce dernier corps, sous l'influence de l'air et de l'eau, se transforme en oxyde magnétique et, finalement, en hydrate d'oxyde ferrique.

De l'attaque du fer par l'eau, il résulte des combinaisons diverses des principes corrosifs avec le métal lui-même et à son détriment.

En outre, l'activité corrosive de l'eau montre, généralement, que cette eau s'est emparée des éléments constitutifs des roches, avec une certaine énergie, et qu'elle est chargée de corps en solution qui n'attendent que les

circonstances propices pour se déposer, comme le fait se produit dans les générateurs de vapeur.

Ces dépôts sont souvent formés de matières absolument incrustantes, comme le sulfate de calcium, qui se rencontre dans les eaux de mer et les eaux de mine.

Les eaux de mine sont chargées de ce sulfate de calcium par une attaque des roches calcaires avoisinantes, à la faveur de transformations acides résultant de l'oxydation des pyrites en présence de l'eau.

Ces eaux : les eaux de mine et de mer, pouvant produire à la fois des incrustations et des corrosions, ont été appelées eaux incrusto-corrosives, dans une étude que nous avons publiée, dans le *Génie civil*, et le propriétaire de générateur de vapeur oublie trop souvent de considérer, dans le traitement des eaux, ces deux inconvénients, et par suite il ne cherche pas à apporter un remède qui agisse à la fois sur les incrustations et les corrosions.

Dans le cas général de la corrosion, le fer semble plus difficile à rouiller que l'acier ; il en est de même pour les fers communs, qui rouillent plus difficilement que les fers de bonne qualité ; ces observations résulteraient de la quantité de phosphore qui se trouve toujours en proportion assez grande dans les fers communs.

Les alliages de fer sont plus ou moins sujets à se rouiller. Le manganèse semble favoriser la corrosion du fer, tandis que le nickel, le chrome et le cobalt paraissent, au contraire, retarder sa corrosion.

Dans les générateurs de vapeur, on distingue deux sortes de corrosions :

1° Les corrosions extérieures, qui sont produites extérieurement par les agents atmosphériques ; elles sortent de notre étude ;

2° Les corrosions intérieures, produites, comme leur nom l'indique, intérieurement ; elles sont dues aux eaux plus ou moins corrosives qui sont en contact avec les tôles des générateurs de vapeur.

Le plus souvent, les corrosions sont localisées; quelquefois, la corrosion est générale.

Une même eau, employée dans des chaudières de formes différentes, peut très bien corroder l'une sans attaquer l'autre, et ces corrosions peuvent se présenter en des endroits différents.

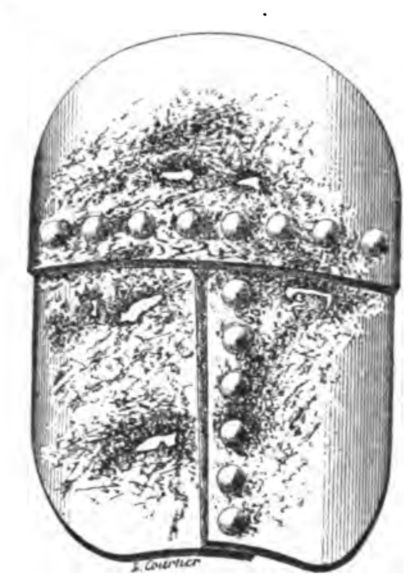


Fig. 30. — Corrosion générale.

Si les chaudières sont semblables et soumises au même régime, en employant la même eau, les corrosions de l'une seront reproduites dans l'autre et situées à la même place.

D'après la nature et la quantité des matières en solution dans l'eau, les corrosions seront plus ou moins intenses et présenteront des formes différentes.

Dans une chaudière, les attaques peuvent se produire de trois façons et donner lieu à trois sortes de corrosions.

a) **Corrosions en pustules.** — Dans ce cas, les tôles sont attaquées par points, et il y a formation de cavités circulaires qui se remplissent d'une poudre noire, contenant de l'oxyde de fer en majeure partie et, en outre, des sels divers primitivement contenus dans l'eau.

Ces cavités augmentent surtout en profondeur, et elles sont recouvertes d'une espèce de chapeau d'oxyde de fer.

b) **Corrosions par surfaces.** — Les tôles sont alors attaquées sur de grandes surfaces et sont généralement

recouvertes d'un large dépôt sédimentaire, ne décélant pas trace d'acidité ;

c) A la suite de certaines flexions, par des dilatations inégales du métal, les tôles se fendent, et l'eau séjourne alors facilement dans ces fentes, ce qui aide à la corrosion.

En dehors des phénomènes chimiques qui interviennent, les corrosions sont soumises à certaines influences d'ordre physique.

Les parties les plus sujettes à se corroder sont les tôles situées au-dessus du feu, et ces tôles sont corrodées le plus souvent sur de grandes surfaces; quant aux tôles exposées dans les parties les plus froides, elles donnent lieu généralement à des corrosions par cavités isolées.

Ces cavités isolées se rencontrent sur les tôles où l'eau est ou a été en inaction, et où l'ébullition ne se produit pas; il est à remarquer que, parfois, le trop grand rapprochement de ces cavités peut former des fentes d'où il résulte des explosions.

En examinant les produits qui remplissent les cavités des corrosions en pustules, on trouve, en dehors des oxydes de fer, d'autres sels et, en particulier, des carbonates.

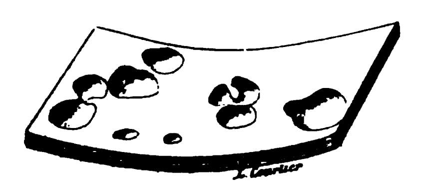


Fig. 31. — Corrosion par pustules.

De cette constatation, certains ingénieurs ont conclu que : la présence des carbonates n'admettant pas une acidité, les corrosions en pustules ne devaient pas leur formation à une action acide; et ils pensent que la corrosion n'est due en grande partie qu'à l'oxyde ferrique.

Certainement, l'oxyde ferrique est un corps éminemment corrosif, par sa propriété hygroscopique favorisant l'absorption de l'humidité, et de plus, comme électro-positif par rapport au fer; aussi, recommandons-nous de ne pas oublier de l'enlever des cavités en pustules et de tous les endroits

où on pourrait le rencontrer[1], lorsqu'on procède au nettoyage des générateurs.

Mais avant de parler des effets que peut produire cet oxyde ferrique, on doit en examiner la genèse.

Nous verrons qu'en effet l'oxyde ferrique peut être non seulement le résultat direct de l'attaque du fer par les gaz carbonique et oxygène contenus dans l'eau, mais encore le produit de l'attaque des acides, à la suite de transformations chimiques accomplies avec l'aide de phénomènes physiques.

Dans les cavités isolées, la présence des carbonates s'explique facilement, car les bicarbonates, par leur instabilité, amènent la précipitation de leurs carbonates alcalino-terreux.

Ces carbonates peuvent certainement exercer, de plus, une action corrosive, car l'acide carbonique qui les compose est un corps jouant un rôle important dans les corrosions, à la faveur de l'oxygène et de la vapeur d'eau des générateurs.

Mais, cependant, on ne doit pas conclure que ces corrosions en pustules ne sont pas aussi le fait d'une action acide.

L'attaque des tôles du générateur peut très bien se produire, par l'action directe de certains sels, en dissolution dans l'eau, en présence du fer, dont l'acide se combine avec ce métal pour donner naissance à des sels correspondants; ces actions étant facilitées par le concours de la vapeur d'eau et les conditions particulières de température et de pression qui interviennent.

L'examen des matières contenues dans les cavités isolées n'indiquera pas la présence d'une acidité, et pourtant ces corrosions ont été provoquées par une acidité.

Cependant nous sommes parvenus à découvrir parfaitement la présence d'acides dans quelques matières provenant des corrosions.

Si, en effet, les sels, produits de corrosions eux-mêmes, sont l'objet de décompositions postérieures, ils indiquent

bien la présence de l'acide, qui est entré dans la combinaison de leur produit de corrosion.

Mais, en dehors de ce cas, les sels en dissolution dans l'eau peuvent, au préalable, subir, par leur dissociation ou leur action l'un sur l'autre, des transformations acides et, par suite, amener des corrosions.

Cette acidité est alors nettement appréciable et facilement mise en évidence par les réactifs.

Nous devons ajouter que la matière de remplissage des cavités de corrosions en pustules marque souvent une réaction acide faible, à cause de la grande solubilité des acides et sels dans l'eau, qui contribue à les éliminer, en grande partie, des produits de corrosion qui en étaient imprégnés.

EXPÉRIENCES ET OBSERVATIONS SUR LES CORROSIONS

Les expériences et observations de M. Desgeans, à la Compagnie de l'Est, consignées dans la *Revue des chemins de fer*, que nous allons examiner, viennent encore fortifier notre jugement.

On peut se rendre compte du rôle important que joue l'eau dans l'action corrosive provoquée par des réactions chimiques.

Considérons des générateurs en fer ou en acier, et examinons les corrosions intérieures.

Nous distinguerons deux cas :

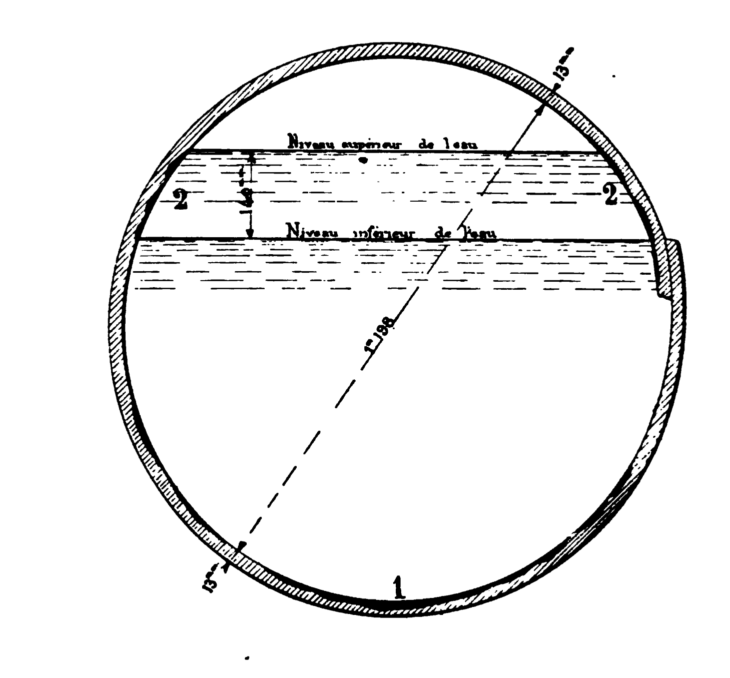
1° Les corrosions dues à une action exclusivement chimique;

2° Les corrosions et fissures dues à une action mécanique, exagérée par l'action chimique.

Corrosions intérieures des chaudières (en fonte ou en acier)

I. — *Corrosions dues à une action exclusivement chimique*

N° de la locomotive.... 327
Timbre 9k
Dépôt d'attache ......Nancy
Parc° de la chaud°..835212



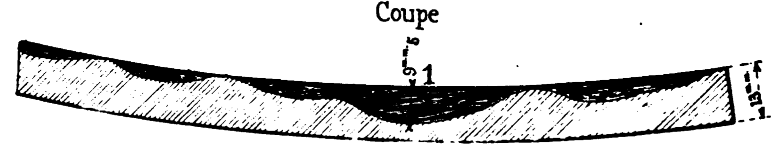


Fig. 32.

1. **Faits.** — A la partie inférieure des corps cylindriques des chaudières, sur une largeur variable de 30 à 60 centimètres, en pleine tôle. En dehors de cette zône, on n'observe plus que des rongeures isolées, sans importance.

Causes. — Action destructive de l'eau ou d'éléments dissous dans l'eau.

Conséquences. — Affaiblissement des parois, généralement sans gravité, mais nécessitant quelquefois l'application de doublure ou le remplacement des parties attaquées.

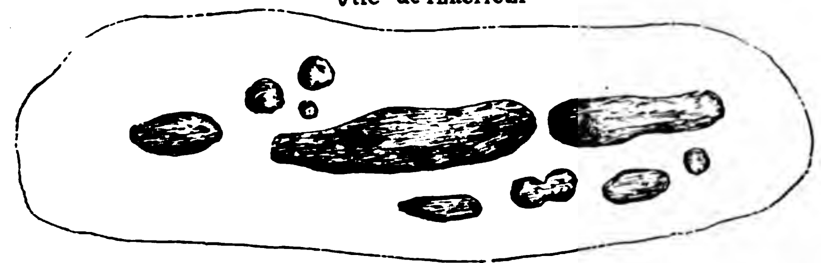
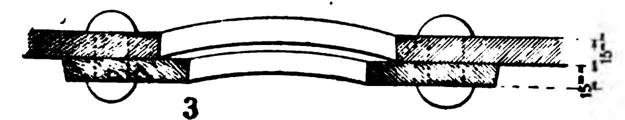


Fig. 33.

2. Faits. — Dans quelques cas plus rares, les rongeures s'étendent jusqu'à une hauteur correspondant au niveau le plus élevé que l'eau atteint quelquefois dans la chaudière. Dans ce cas, les corrosions sont plus accentuées dans la région comprise entre le niveau inférieur et le niveau supérieur de l'eau que dans les régions inférieures ; en un mot, il y a également une zone indemne, entre les rongeures inférieures du 1 et celles du 2.

Causes. — Action destructive de l'eau ou d'éléments dissous dans l'eau.

Conséquences. — Affaiblissement des parois sans gravité.



3. Faits. — Aux trous de lavage de la chaudière, situés à la porte inférieure du corps cylindrique ou des plaques de boîte à feu.

Causes. — Il peut se produire en ces points des fuites légères, donnant lieu, lors des refroidissements, à des rentrées d'air qui oxydent le métal.

Le frottement des outils peut aussi causer une usure en ces points. Enfin ces trous se trouvent aux points bas de la chaudière les plus corrodés, par conséquent.

Conséquences. — Corrosions légères affaiblissant le métal et nécessitant l'application de pièces.

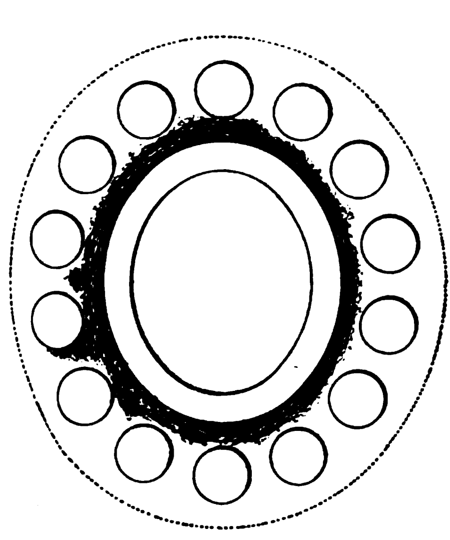


Fig. 34.

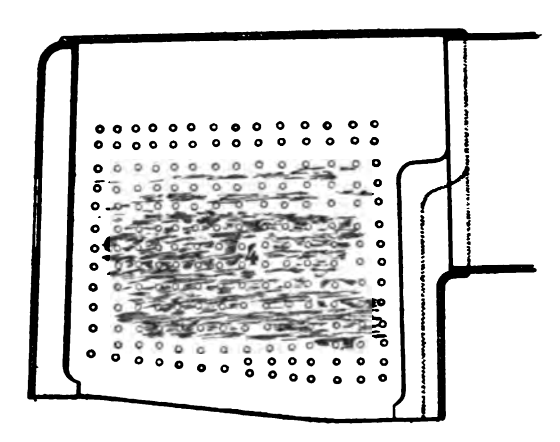


Fig. 35.

4. Faits. — Sur les flancs de la boîte à feu, corrosions de grande étendue mais généralement peu profondes.
Causes. — Action chimique de l'eau.
Conséquences. — Affaiblissement des parois, généralement sans gravité.

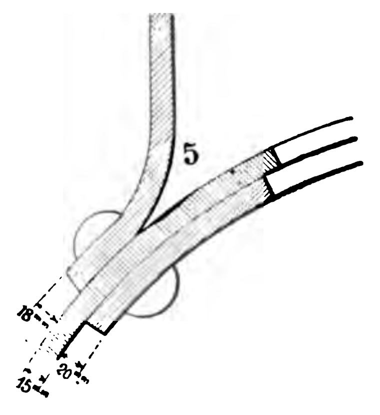


Fig. 36.

5. Faits. — Au bas du dôme sur le corps cylindrique.
Corrosions très légères qui n'ont été constatées qu'exceptionnellement à la Compagnie de l'Est, où l'application des dômes ne remonte qu'à 1878.
Causes. — Action chimique de l'eau condensée en ce point.
Conséquences. — Affaiblissement des parois, généralement sans gravité.

II. — *Corrosions et fissures dues à une action mécanique et accentuée par l'action chimique*

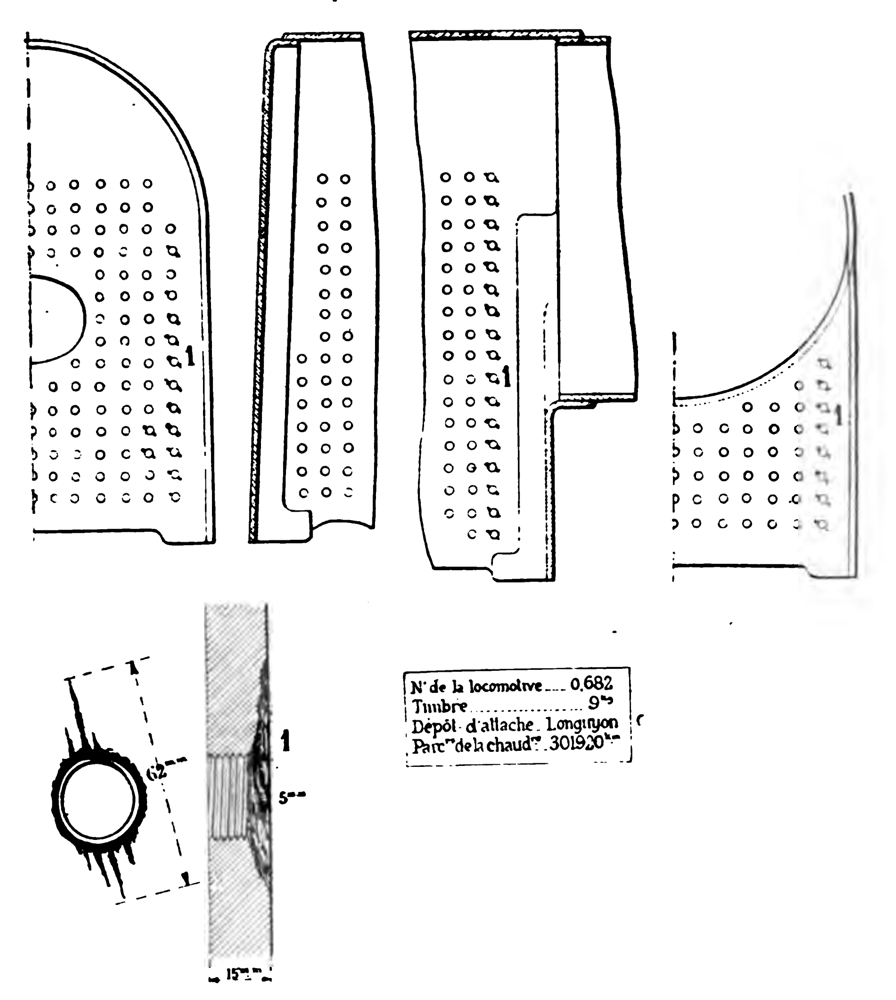


Fig. 37.

1. Faits. — Dans la partie entretoisée de la boîte à feu et généralement dans les rangées verticales extrêmes des entretoises et aux plaques AV et AR de boîte à feu et quelquefois aux flancs et à l'avant.

Causes. — Action mécanique produite par des entretoises sous l'action des déplacements relatifs de la boîte à feu et du foyer. Action corrosive de l'eau.

Conséquences. — Etablissement d'une ligne de rupture pouvant nécessiter le remplacement des plaques ou des flancs de la boîte à feu ou encore l'application de contre-pièces.

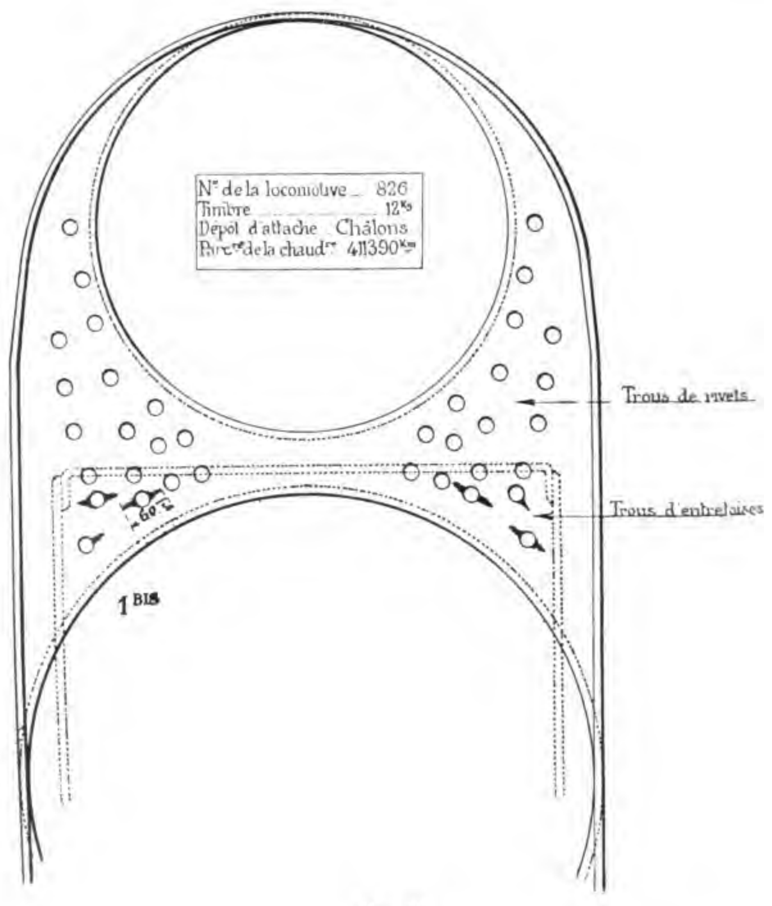


FIG. 38.

1 *bis* FAITS. — Ces fissures ont été constatées également aux entretoises de la partie supérieure de la plaque AV des machines 801 à 840.

CAUSES. — Action mécanique produite par les entretoises, comme dans le cas précédent.

Actions corrosives de l'eau.

CONSÉQUENCES. — Applications de pièces.

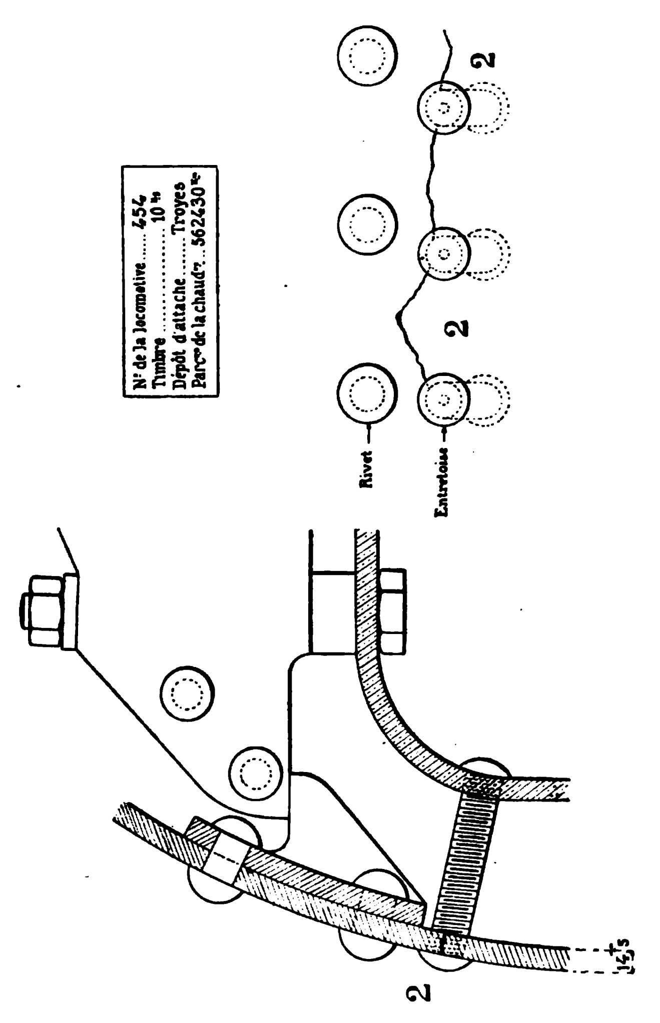


Fig. 39.

2. Faits. — M. Desgeans a constaté également des cassures de tôles à la rangée horizontale supérieure des entretoises des flancs; dans des cas tout particuliers, le foyer était muni de fermes transversales reposant sur des corbeaux latéraux.

Causes. — Pression des fermes sur les corbeaux, tendant à faire pivoter la partie de l'enveloppe portant le corbeau autour de la première ligne d'entretoises, sollicitées déjà par la pression de la vapeur.

Flexion des entretoises en raison des dilatations et contractions du foyer.

Conséquences. — Etablissement d'une ligne de rupture nécessitant l'application de pièces où le remplacement de l'enveloppe.

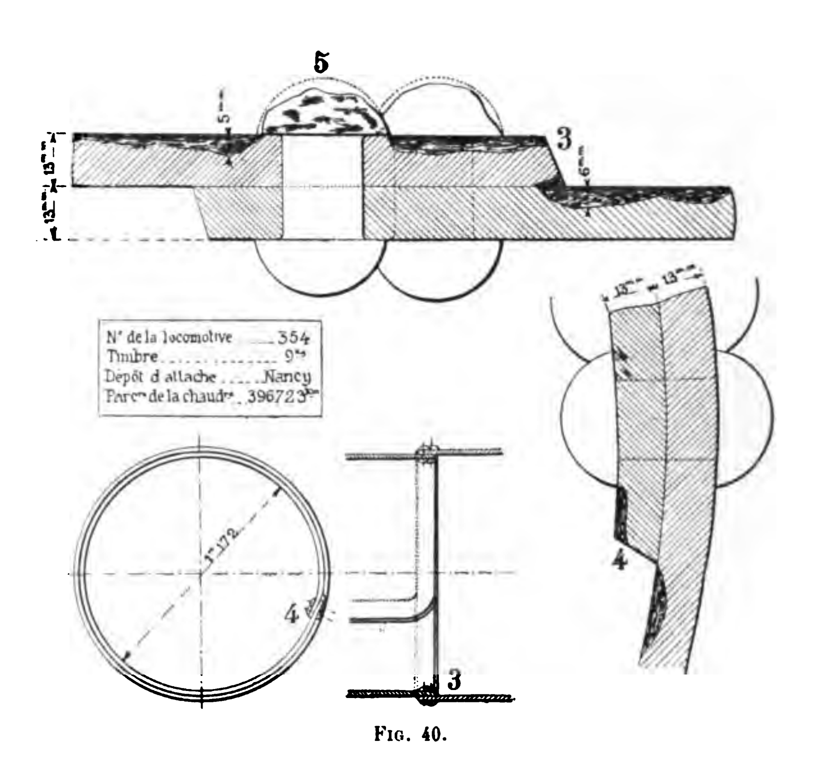


Fig. 40.

3. **Faits.** — Aux points transversaux du corps cylindrique de la chaudière.

Causes. — Action mécanique due aux dilatations et à la chaleur. — Action chimique et corrosive de l'eau.

Conséquences. — Diminution de la résistance des points nécessitant l'application de doublures ou le remplacement des parties avariées.

4. **Faits.** — Plus rarement aux points longitudinaux du corps cylindrique et surtout lorsque ces joints sont à la partie inférieure de la chaudière.

Causes. — Action mécanique due aux dilatations et à la chaleur. Action chimique et corrosive de l'eau.

Conséquences. — Ces corrosions plus rarement observées sont généralement de faible importance.

5. **Faits.** — Ces corrosions s'étendent assez souvent aux rivets d'assemblage des viroles.

Causes. — Action mécanique due aux dilatations et à la chaleur.
Action chimique et corrosive de l'eau.

Conséquences. — Remplacement des rivets lorsque ceux-ci seuls sont rongés.

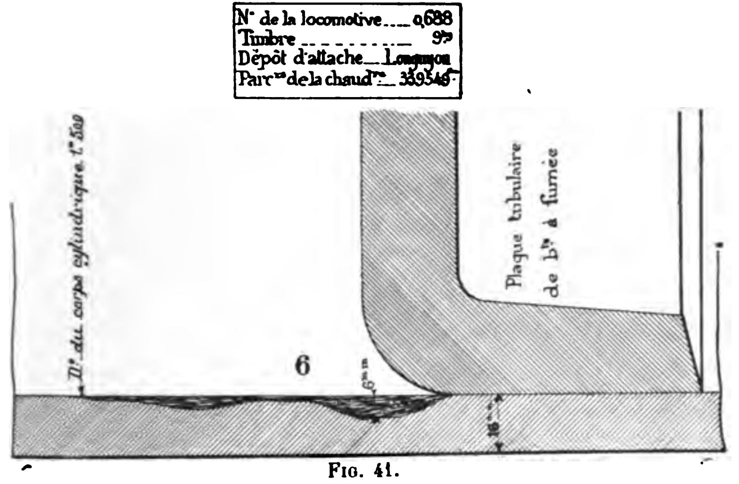


Fig. 41.

6. Faits. — Corrosions de la partie inférieure du corps cylindrique à proximité de la plaque tubulaire de boîte à fumée.

Causes. — Action corrosive de l'eau et très probablement action mécanique due au travail de la plaque tubulaire sous l'action de la poussée des tubes.

Conséquences. — Diminution de la résistance, nécessitant l'application de pièces ou le remplacement de la demi-virole de la boîte de fumée.

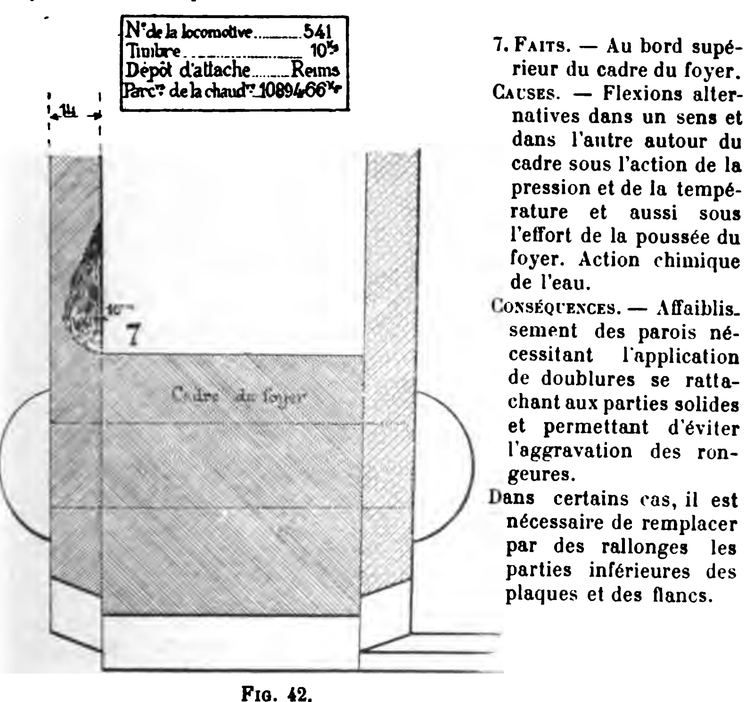


Fig. 42.

7. Faits. — Au bord supérieur du cadre du foyer.

Causes. — Flexions alternatives dans un sens et dans l'autre autour du cadre sous l'action de la pression et de la température et aussi sous l'effort de la poussée du foyer. Action chimique de l'eau.

Conséquences. — Affaiblissement des parois nécessitant l'application de doublures se rattachant aux parties solides et permettant d'éviter l'aggravation des rongeures.

Dans certains cas, il est nécessaire de remplacer par des rallonges les parties inférieures des plaques et des flancs.

N° de la locomotive ..0,681
Timbre 9k
Dépôt d'attache. Longuyon
Parc^{rs} de la chaud^{re}.. 249657

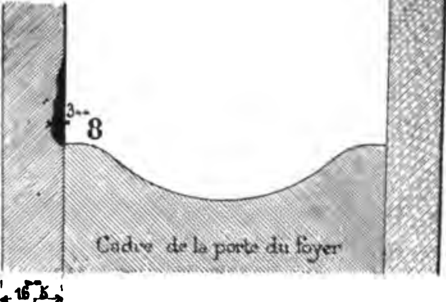
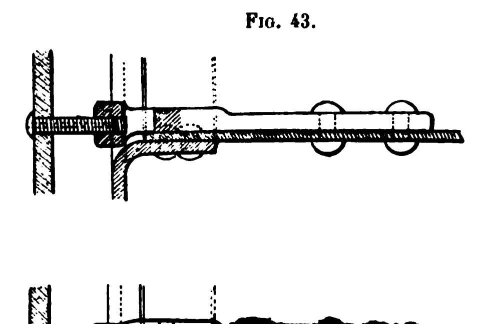


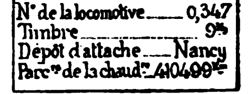
Fig. 43.

8. **Faits.** — Au bord du cadre de la porte : cette rongeure ne se produit que rarement.

Causes. — Flexions alternatives dans un sens et dans l'autre autour du cadre, sous l'action de la pression, de la température, et aussi de la poussée du foyer. Action chimique de l'eau.

Conséquences. — Affaiblissement des parois nécessitant l'application de pièces, et plus rarement le remplacement complet du tour de porte.





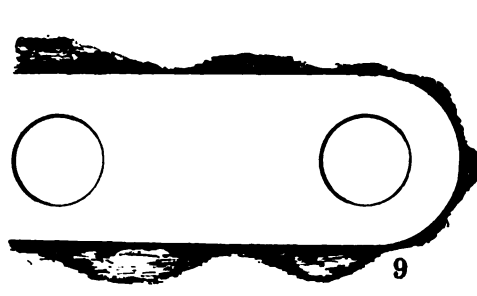


Fig. 44.

9. **Faits.** – En pleine tôle, autour des tirants de la plaque tubulaire du foyer.

Causes. — Fatigue de la tôle, par suite des tensions exercées par les tirants lors des dilatations de la tubulure. Action chimique de l'eau toujours plus accentuée à la partie inférieure du corps cylindrique.

Conséquences. — Affaiblissement des tôles nécessitant soit le remplacement de ces tôles, soit l'application de tirants spéciaux formant doublures.

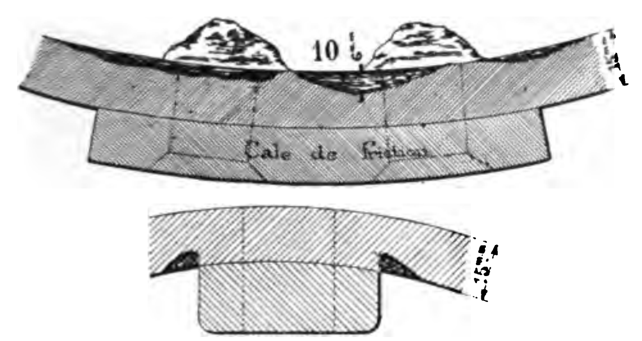


Fig. 45.

10. Faits. — Au-dessus des supports des chaudières, à l'endroit des cales de friction.

Quelquefois, ces corrosions se rencontrent alors même que le reste du corps cylindrique est indemne, ou bien encore elles sont plus accentuées en ces points, quand le reste du corps cylindrique est attaqué.

Causes. — Tensions dues à la résistance, au frottement de la chaudière, sur ses supports et aux chocs latéraux du bâti. Action chimique de l'eau.

Conséquences. — Affaiblissement des tôles nécessitant l'application de doublures.

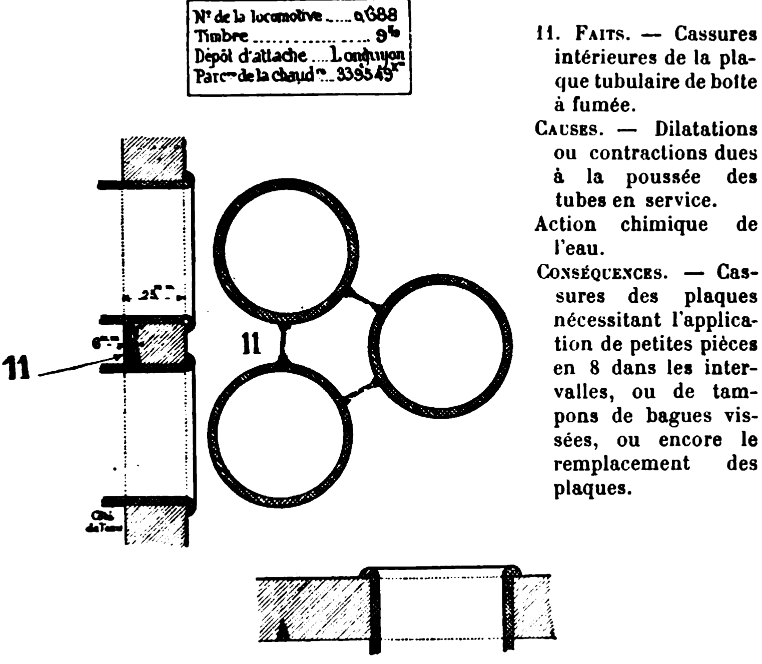


Fig. 46.

11. Faits. — Cassures intérieures de la plaque tubulaire de boîte à fumée.

Causes. — Dilatations ou contractions dues à la poussée des tubes en service. Action chimique de l'eau.

Conséquences. — Cassures des plaques nécessitant l'application de petites pièces en 8 dans les intervalles, ou de tampons de bagues vissées, ou encore le remplacement des plaques.

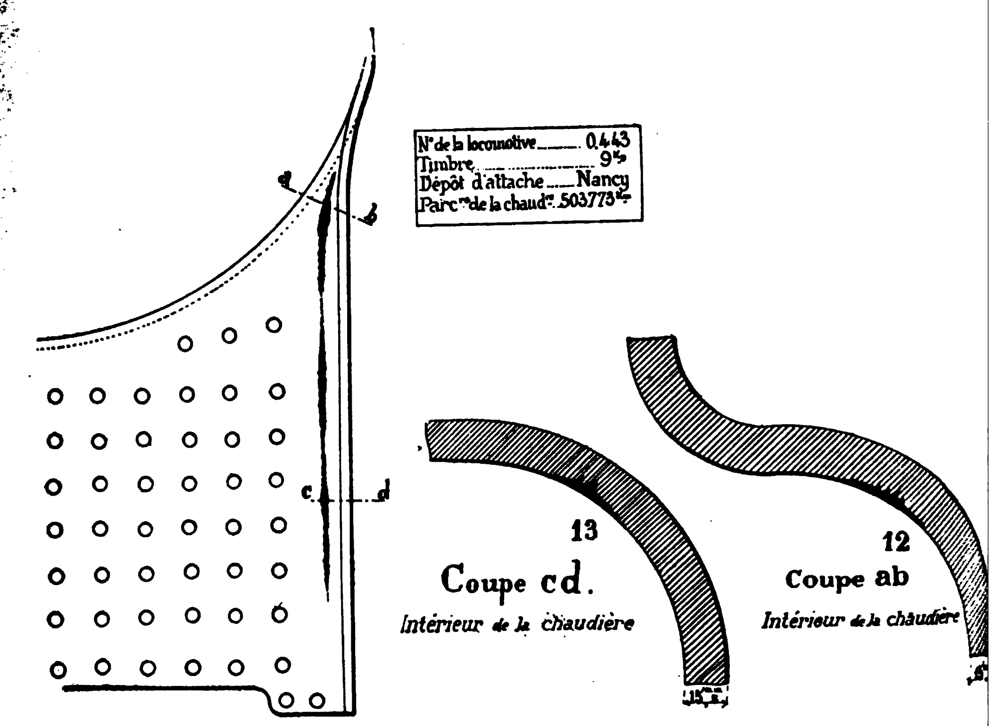


Fig. 47.

12. Faits. — A la partie supérieure des plaques avant, de boîte à feu dans l'arrondi.

Causes. — Flexions, dilatations et contractions successives résultant de la pression intérieure de la dilatation, tendances à des formations sous l'action de la pression en raison du raccordement d'une partie cylindrique, avec une partie plane.

Fatigue de la plaque, en raison de la difficulté qu'éprouve la chaudière à se dilater et de la poussée qu'exerce le corps cylindrique, sur la boîte à feu toujours un peu bridée entre ses supports.

Fatigue de la tôle due au travail préalable d'emboutissage.

Action chimique de l'eau.

Conséquences. — Affaiblissement de ces parties nécessitant l'application de doublures ou le remplacement des plaques.

13. Faits. — Dans les angles verticaux des plaques, avant et arrière de la boîte à feu.

Causes. — Travail mécanique résultant de la pression de la vapeur et des poussées exercées par le foyer, lors des dilatations successives.

Fatigue de la tôle due au travail d'emboutissage.

Action chimique de l'eau.

Conséquences. — Affaiblissement de ces parties nécessitant l'application de doublures ou le remplacement des plaques.

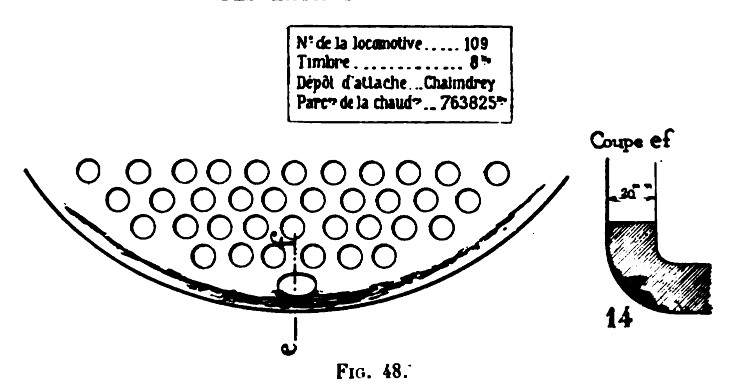


Fig. 48.

14. Faits. — Aucun contour de la plaque tubulaire de boite à fumée.

Causes. — Flexions résultant de la pression intérieure et de la poussée des tubes Fatigue de la tôle due au travail d'emboutissage.

Action chimique de l'eau à la partie inférieure.

Conséquences. — Cassure de la plaque et fuites à l'extérieur, nécessitant l'application de doublures, cornières ou le remplacement de la partie de la plaque qui porte les tubes.

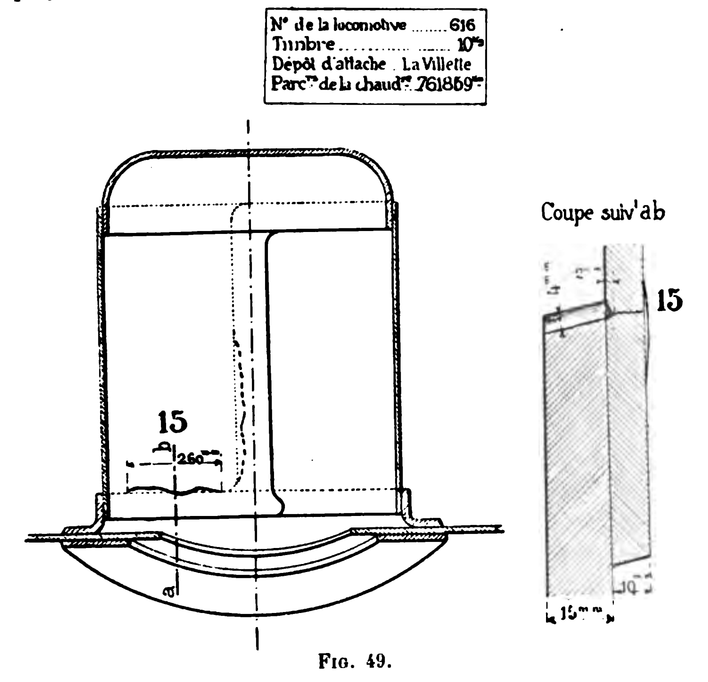


Fig. 49.

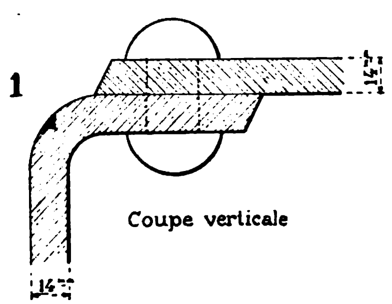
15. Faits. — Fissures transversales au bas du dôme de prise de vapeur.

Causes. — Conséquence de mâtages exagérés à la suite de fuites à la rivure (Avarie due à une cause exclusivement mécanique.)

Conséquences. — Remplacement de la virole du dôme.

A. — Foyers (en cuivre rouge)

Corrosions et Fissures (côté de l'eau)



N° de la locomotive......	546
Timbre....................	10 kg
Dépôt d'attache........	Troyes
Parcours du foyer.	471551 km

Fig. 50.

1. Faits. — Corrosions et fissures généralement localisées, à la partie supérieure de la plaque arrière du foyer dans l'arrondi.

Causes. — Flexions et contre-flexions à la suite de dilatations et contractions successives de la plaque et sous l'action de la pression qui s'exerce sur le ciel du foyer.

Conséquences. — Affaiblissement des parois nécessitant l'application de cornières ou le remplacement des plaques.

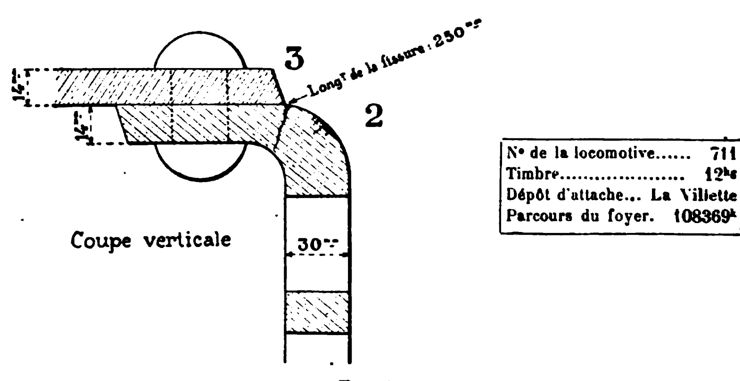


Fig. 51.

2. Faits. — Corrosions et fissures généralement localisées à la partie supérieure de la plaque tubulaire du foyer sur l'arrondi.

Causes. — Flexions et contre-flexions, sous l'action de la dilatation, de la pression qui s'exerce sur le ciel du foyer et la poussée des tubes.

Conséquences. — Affaiblissement des parois nécessitant l'application de cornières ou le remplacement des plaques.

3. Faits. — Corrosions et fissures généralement localisées à la partie supérieure de la plaque tubulaire, le long de la ligne d'assemblage avec le ciel.

Causes. — Flexions et contre-flexions sous l'action de la dilatation, de la pression qui s'exerce sur le ciel du foyer et de la poussée des tubes.

Conséquences. — Affaiblissement des parois nécessitant l'application de cornières ou le remplacement des plaques.

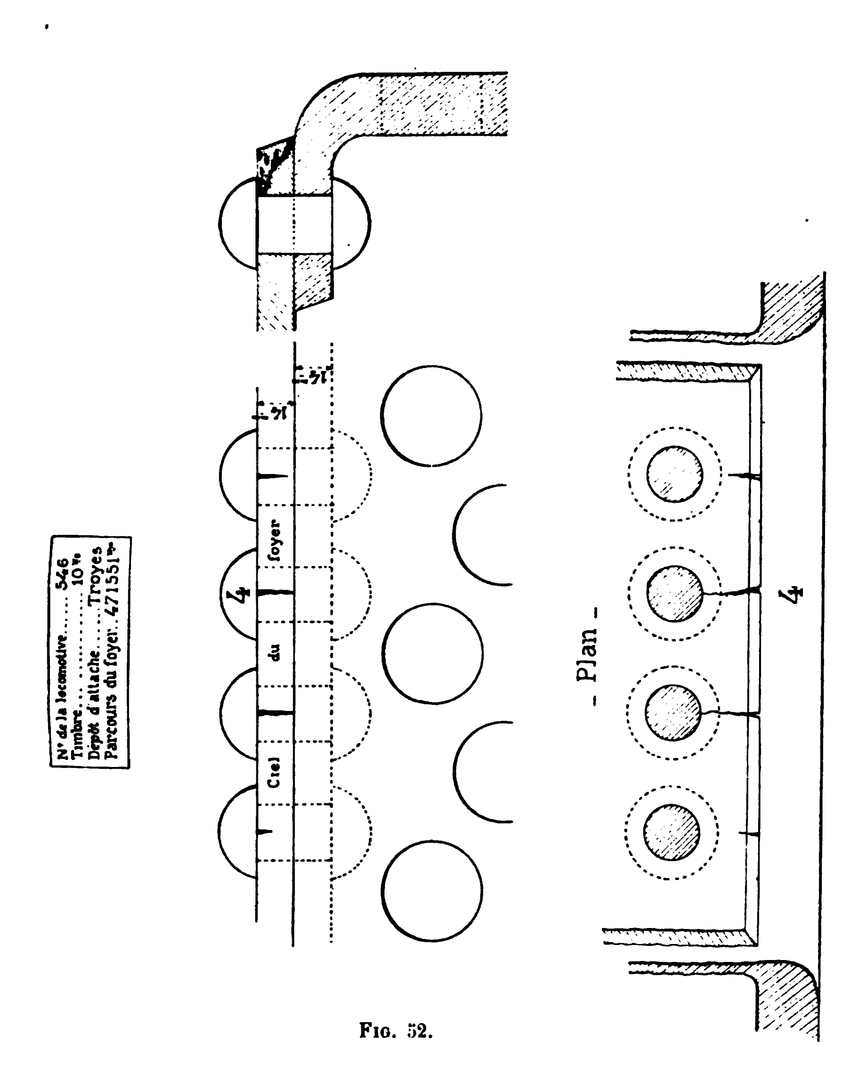


Fig. 52.

4. Faits. — Corrosions et fissures généralement localisées au ciel, suivant des lignes allant des rivets d'assemblage aux bords de la tôle (surtout à la plaque tubulaire).

Causes. — Flexions et contre-flexions sous l'action de la dilatation de la pression qui s'exerce sur le ciel du foyer et de la poussée des tubes.

Conséquences. — Application de pièces ou de plaques tubulaires à grands bords, ou remplacement de l'enveloppe.

B. — Tubes (en fer ou en acier doux)

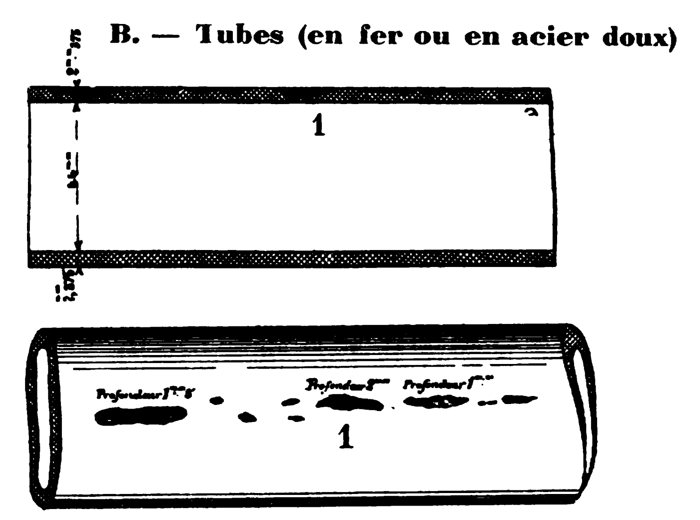


Fig. 53.

1. Faits. — Sur les tubes, les corrosions sont localisées souvent sur la génératrice supérieure, quelquefois sur la génératrice inférieure, et plus rarement sur les côtés.

Causes. — Action chimique des eaux qui agissent sur les tubes comme sur les tôles.

L'importance des corrosions paraît accrue par l'état primitif des tubes qui présentent quelquefois des surfaces rugueuses éminement favorables au développement des corrosions.

Dénaturation des tubes incrustés sous l'action d'une température élevée, les incrustations s'opposant à la libre propagation de la chaleur et pouvant amener le tube à une température anormale. Action mécanique due aux flexions causées par la dilatation des tubes en service.

Conséquences. — Fuites locales aux tubes pouvant nécessiter le tamponnement ou le remplacement du tube avarié.

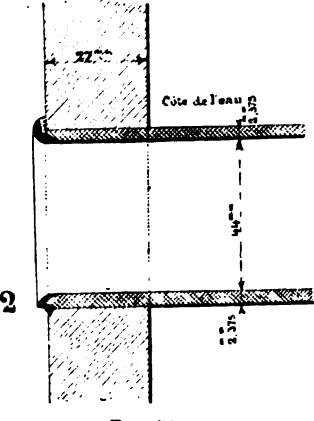


Fig. 54.

2. Faits. — Corrosions des rivures des tubes dans le foyer (côté du feu). Ce genre de corrosion se remarque aussi bien sur les tubes en acier que sur les tubes en laiton.

Causes — Action de l'eau provenant de fuites qui se déclarent sous l'influence de causes diverses : poussée des tubes près des plaques, rivures défectueuses, frottement des gaz enflammés et des poussières entraînées.

Dans ces trois cas, usure plus rapide due à l'emploi exclusif du coke.

Conséquences. — Affaiblissement du tube, nécessitant l'application d'une virole ou le remplacement du tube.

Nota. — L'emploi des tubes en fer ou en acier doux se généralise de plus en plus à la Compagnie de l'Est.

Nous venons de voir combien était énergique l'action des eaux sur le fer et l'acier des générateurs; pour les parties des foyers, en cuivre rouge, baignées par l'eau, l'eau n'exercera qu'une faible action sur le cuivre.

Avec le cuivre, on ne rencontre plus ces corrosions profondes que l'on trouvait avec le fer.

Il est rare de constater des corrosions aux foyers en cuivre rouge, du côté de l'eau; en tous les cas, elles sont surtout d'origine mécanique, et le plus souvent on n'est en présence que de simples fissures.

SUBSTANCES CORROSIVES EN SOLUTION DANS L'EAU

Une eau peut être éminemment corrosive sans que, pour cela, elle ait de prime abord une réaction acide.

En effet, les sels en solution dans l'eau, en dehors de leur action corrosive directe, qu'ils peuvent exercer sur le fer, sont souvent l'objet de transformations, par les conditions particulières de température et de pression dans lesquelles on se trouve, qui amènent des attaques énergiques du métal.

Sans oublier les expériences, de M. Cornut d'une part, et celles de MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dolfus de l'autre, qui ont montré que la corrosion du fer était due à l'oxygène de l'eau dont le fer s'empare, action favorisée par la présence de l'acide carbonique, il résulte des expériences de M. Petit que le carbonate de chaux en dissolution dans l'eau produit une attaque du fer, même à froid.

En effet, si, dans une solution froide de bicarbonate de calcium neutre à la phtaléine du phénol, on introduit de la limaille de fer porphyrisée, on constate qu'une certaine quantité de carbonate neutre de calcium se précipite aussitôt et que le fer entre en même temps en solution, action qui se continue en prolongeant le contact.

De l'eau, qui contient seulement de l'acide carbonique et du fer, attaque rapidement ce métal; le fer entre en solution, et, au fur à mesure, de l'hydrogène se dégage.

Finalement, on obtient du carbonate de protoxyde de fer ; cette solution, exposée à l'air, laisse déposer, en se troublant, du sesqui-oxyde de fer.

Par l'action du fer sur le bicarbonate de chaux et sur l'acide carbonique dissous, on peut expliquer l'attaque des tuyaux et réservoirs en fer, ainsi que l'épuration des eaux et des sirops de sucrerie par la limaille de fer.

Enfin l'action microbiologique des eaux de mer, en matière de corrosion, ne doit pas être oubliée.

En effet les eaux de mer sont douées de réactions vitales d'une extrême énergie, car elles renferment des ferments ammoniacaux, nitreux et nitriques, en quantité d'autant plus grande qu'on se trouve à proximité du rivage et dans les bassins où se déversent les eaux d'égout.

Du reste, la corrosion des métaux, par des sécrétions d'origine bactérienne, a été parfaitement constatée par des observations faites en Allemagne sur des caractères d'imprimerie ayant déjà servi.

On put transporter cette action corrosive et microbienne sur des caractères neufs et constater qu'après stérilisation à l'étuve l'activité d'altération s'était arrêtée, ce qui prouverait bien que le travail d'attaque du métal était dû aux microorganismes.

Il nous paraît intéressant de donner les résultats d'expériences obtenus par M. F. Baucher, pharmacien principal de la Marine, sur l'altération du fer par différentes influences qui résident dans les eaux.

Ces expériences, dont les résultats sont consignés dans le tableau suivant, ont été faites avec des lames de fer, de même composition, bien nettoyées et polies, pesant 18 grammes, et plongées pendant huit jours dans chacun des liquides spécifiés.

FER ENLEVÉ AU BOUT DE HUIT JOURS

Numéros d'ordre	LIQUIDES EMPLOYÉS	PEROXYDE de fer en suspension en milligr.	OXYDE de fer en dissolution en milligr.	TOTAL en milligr.
		milligr.	milligr.	milligr.
1	Eau distillée	19	0	14
2	Eau distillée récemment bouillie	10	0	10
3	— stérilisée à l'autoclave	12	0	12
4	— bouillie, puis saturée d'oxygène	21	3	24
5	Eau distillée bouillie, puis saturée d'acide carbonique	7	9	16
6	Eau distillée calcaire sans excès de chaux	0	0	0
7	Eau de pluie	19	0	19
8	Eau de la ville (Divette)	17	0	17
9	Eau de mer du bassin de la Mâture (Cherbourg)	16,5	19,5	36
10	Eau de mer du bassin de la Mâture bouillie	3,4	0	34
11	Eau de mer du bassin de la Mâture bouillie, puis oxygénée	10	6	16
12	Eau de mer du bassin de la Mâture calcaire sans excès de chaux	traces sensibles	traces sensibles	traces
13	Eau de mer du bassin de la Mâture avec algues	31	6	37
14	Eau de mer du bassin de la Mâture 1^{c3} de culture des boues	31	7	38
15	Eau de mer de l'avant-port	27	2	29
16	— — calcaire	traces	traces	traces
17	Eau de mer de la rade calcaire	0	0	0

L'attaque du fer commençait, généralement, au bout de quelques minutes, sous formes de traînées verdâtres qui se peroxydaient plus tard.

Une fois que la première attaque avait lieu, la corrosion augmentait régulièrement, favorisée par les phénomènes électro-chimiques qui s'établissaient entre les oxydes formés et le fer.

α) CORROSIONS PAR LES EAUX ACIDES

Suivons maintenant les actions qui peuvent se produire sur le fer métallique avec les sels qu'on rencontre le plus

fréquemment dans les eaux, et supposons, tout d'abord, que nous nous servions, pour l'alimentation des générateurs de vapeur, d'eau acidulée par les acides des sels qu'elles renferment.

Du reste, ceci peut être admis, car les eaux naturelles sont parfois acides, lorsqu'elles sont recueillies avant qu'elles n'aient eu le temps de se neutraliser par les éléments des roches de l'écorce terrestre.

a) **Acide chlorhydrique.** — L'eau acidulée par l'acide chlorhydrique attaque le fer avec énergie et donne du chlorure ferreux soluble avec dégagement d'hydrogène :

$$Fe + 2HCl = FeCl^2 + H^2.$$

Ce chlorure ferreux s'oxyde rapidement et se transforme en chlorure ferrique, avec dépôt d'oxyde ferrique :

$$6FeCl^2 + 3O = 2Fe^2Cl^6 + Fe^2O^3.$$

En présence de la vapeur d'eau et de la haute température du générateur, on peut avoir encore une autre réaction, par laquelle il se forme l'acide chlorhydrique :

$$3FeCl^2 + 4H^2O = Fe^3O^4 + 6HCl + H^2.$$

D'après ces trois réactions, on obtient un oxyde intermédiaire Fe^3O^4 et deux combinaisons du fer au maximum Fe^2O^3 et Fe^2Cl^6.

Mais ce chlorure ferrique, grâce à la vapeur d'eau, se décompose lui-même en acide chlorhydrique, qui est régénéré :

$$Fe^2Cl^6 + 3H^2O = Fe^2O^3 + 6HCl.$$

L'attaque des parois en fer ou des générateurs a donc pour résultat la production continuelle des oxydes de fer Fe^2O^3 et Fe^3O^4 et la régénération de l'acide chlorhydrique primitif.

C'est donc un cycle de corrosion du fer qui se produit avec l'acide chlorhydrique.

Nous examinerons, tout à l'heure, les réactions qui peuvent intervenir avec ses combinaisons chlorurées.

b) **Acide sulfurique.** — Une eau contenant de l'acide sulfurique en solution fournit des réactions analogues à celles de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique.

Tout d'abord, il y attaque du fer, avec formation de sulfate ferreux et dégagement d'hydrogène :

$$So^4H^2 + Fe = So^4Fe + H^2.$$

Mais, dans les générateurs de vapeur, ce sulfate ferreux s'oxyde et donne du sulfate ferrique normal, qui reste en solution, et de l'oxyde ferrique qui précipite :

$$6\,(So^4Fe) + 3O = 2\left[(So^4)^3Fe^2\right] + Fe^2O^3.$$

Le sulfate ferrique obtenu est sujet à se décomposer par la vapeur d'eau et la haute température en : sulfate ferrique basique qui se précipite, et en acide sulfurique libre :

$$2\,(So^4)^3\,Fe^2 = (Fe^2O^3)^2\,SO^3 + 5SO^3.$$

Cet acide sulfurique régénéré attaque, de nouveau, le fer pour donner, dans un milieu oxydant, du sulfate ferrique, corps corrosif sujet aux réactions cycliques que nous avons examinées.

Un autre corps, le sulfate ferrique basique précipité, est sujet, lui aussi, à des réductions, comme du reste tous les sels ferriques en général.

Ces sels ferriques sont réduits par le fer métallique, et, en particulier, par le fer du générateur et, par conséquent, à son détriment, il se forme un sel correspondant au minimum.

Pour le sulfate ferrique normal, on aura :

$$(So^4)^3\,Fe^2 + Fe = So^4Fe.$$

Dans les générateurs alimentés par de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique, on peut trouver, en dehors du sulfate ferreux en solution et de l'oxyde ferrique, un dépôt de sulfate ferrique basique, si celui-ci n'a pas été complètement réduit par le fer du générateur.

c) **Acide azotique.** — Si l'on examinait le cas d'une eau acidulée par de l'acide azotique, on obtiendrait des réactions analogues à celles fournies par l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique.

Figures schématiques de corrosions du fer. — Par ce qui précède, on peut établir les formules schématiques de corrosions du fer par les acides des matières salines qu'on rencontre le plus souvent dans les eaux :

1° Avec de l'eau acidulée par HCl :

$$3FeCl^2 + 4H^2O = Fe^3O^4 + 6HCl$$

$$2HCl = H^2 + FeCl^2$$

$$Fe^2Cl^6 + Fe = 3FeCl^2$$

$$6FeCl^2 + 3O = 2Fe^2Cl^6 + Fe^2O^3$$

$$Fe^2Cl^6 + 3H^2O = Fe^2O^3 + 6HCl;$$

2° Avec de l'eau acidulée par So^4H^2 :

$$3So^4Fe + 4H^2O = Fe^3O^4 + H^2 + 3So^4H^2$$

$$So^4H^2 + Fe = H^2 + So^4Fe$$

$$(So^4)^3Fe^2 + Fe = 3So^4Fe$$

$$6So^4Fe + 3O = 2\left[(So^4)^3Fe^2\right] + Fe^2O^3$$

$$2\left[(So^4)^3Fe^2\right] = (Fe^2O^3)^2So^3 + 5So^3;$$

3° Avec de l'eau acidulée par AzO^3H :

$$9AzO^3H + 4Fe = 4\left[(AzO^3)^2Fe\right] + 3H^2O + AzH^3.$$

$$(AzO^3)^6Fe^2 = 3(AzO^3)^2Fe$$

$$6\left[(AzO^3)^2Fe\right] + 3O = 2\left[(AzO^3)^6Fe^2\right] + Fe^2O^3$$

$$(AzO^3)^6Fe^2 = \text{azotate ferrique basique} + AzO^3H.$$

β) CORROSIONS PAR LES EAUX CONTENANT DES MATIÈRES SALINES

En examinant les attaques du fer par l'eau acidulée, nous avons pu constater que certaines substances salines, comme les chlorures et les sulfates ferriques, étaient éminemment corrosives.

Les sels, sous leur apparence d'inertie, peuvent, dans les générateurs de vapeur, attaquer les parois en fer, soit directement, soit indirectement, par l'intervention d'autres substances salines.

Nous allons maintenant mettre en évidence l'action corrosive de différentes substances, en commençant par les chlorures.

a) **Chlorures.** — En dehors de l'action corrosive du chlorure ferrique, il est un corps: le chlorure de magnésium, qui, par son instabilité, est le sujet de nombreuses corrosions dans les générateurs.

Nous avons eu l'occasion de parler de la décomposition facile de ce sel, à des températures relativement basses, à propos des solubilités des sels dans l'eau.

La décomposition s'effectue suivant la réaction :

$$MgCl^2 + H^2O = 2HCl + MgO.$$

Cette mise en liberté de l'acide chlorhydrique fait intervenir son action corrosive sur le fer du générateur et donne les transformations que nous avons étudiées, à propos de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique.

Dans ces transformations, il est à noter la formation du chlorure ferreux et chlorure ferrique, et la décomposition de ce dernier, ce qui se traduit par une réaction cyclique de corrosion du fer.

Ce corps, le chlorure de magnésium, est donc lui-même éminemment corrosif; mais un autre corps, le sulfate de magnésium, qui seul est considéré comme étant sans influence sur le fer des générateurs, devient une substance des

plus nuisibles au générateur, si l'eau tient en solution des chlorures.

En effet, si l'on a un chlorure métallique de formule ΣCl, Σ représentant un élément monoatomique, on aura la réaction:

$$So^4Mg + 2\Sigma Cl + H^2O = MgO + So^4\Sigma^2 + 2HCl\,;$$

on voit qu'il y a formation d'un sulfate correspondant et mise en liberté de l'acide chlorhydrique, qui exerce son action corrosive d'après les réactions cycliques que nous avons examinées.

Le carbonate de magnésium avec les chlorures peuvent aussi amener la formation de chlorure de magnésium, dont on connait la puissance corrosive :

$$Co^3Mg + 2NaCl = MgCl^2 + Co3Na^2,$$
$$MgCl^2 + H^2O = 2HCl + MgO.$$

Bien que le chlorure de calcium soit plus stable, il est cependant exposé, par la présence : des autres sels, de la vapeur d'eau et de la haute température, à certaines transformations, qui provoquent une attaque du fer métallique.

Le chlorure de sodium, sujet à corroder le fer, exerce une action corrosive d'une extrême énergie, lorsqu'il se trouve en présence de la vapeur d'eau et de la silice :

$$SiO^2 + 2NaCl + H^2O = SiO^3Na^2 + 2HCl.$$

L'acide chlorhydrique, ainsi formé, attaque alors le fer, suivant les réactions que nous avons examinées.

Dans les eaux, qui renferment des matières organiques, on est exposé à rencontrer du chlorure d'ammonium ; ce corps est instable et peut aussi provoquer des corrosions :

$$AzH^4Cl + Fe = HCl + AzH^3.$$

Il se forme de l'acide chlorhydrique, qui réagit sur le fer pour donner du chlorure ferreux; ce chlorure est soumis ensuite aux réactions secondaires étudiées précédemment.

b) **Sulfates.** — Nous avons vu, d'après l'examen que nous avons porté sur les actions de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, que le sulfate ferrique était un corps corrosif, et nous avons indiqué les réactions qui en résultaient.

Il est un autre sel, le sulfate d'aluminium, qui est soumis à des transformations absolument analogues à celles du sulfate de fer ; aussi, le sulfate d'aluminium doit-il être envisagé comme corrosif.

En effet, par la chaleur, il y a précipitation d'oxyde d'aluminium et mise en liberté d'acide sulfurique, et, de plus, on rencontre, dans l'eau, un précipité de sulfate d'aluminium basique :

$$3H^2O + (So^4)^3 Al^2 \pm 3So^4H^2 + Al^2O^3,$$

d'où résulte : la corrosion du fer par l'acide sulfurique.

Quant au sulfate de cuivre, qu'on rencontre parfois en solution dans l'eau, il se décompose en cuivre métallique qui se dépose sur les parois du générateur et à son détriment, car le fer se combine, au fur et à mesure, avec l'acide sulfurique du sulfate de cuivre :

$$So^4Cu + Fe = So^4Fe + Cu.$$

Ce sulfate ferreux obtenu est alors soumis aux réactions que nous avons étudiées et qui le transforment en un corps éminemment corrosif.

Il est intéressant de constater, avec M. Petit, que le fer est sujet à des attaques, même à froid, par de l'eau tenant en solution du sulfate alcalin, comme le sulfate de potassium.

Ainsi, en faisant une solution de sulfate de potassium avec de l'eau privée d'air et d'acide carbonique, on trouve que, pour une solution renfermant $0^{gr},091$ de sulfate de potassium par litre, en contact, pendant onze jours, à la température de 12°, avec 100 grammes de fer porphyrisé, on parvient à oxyder $7^{gr},5$ de fer.

Si l'eau contient de l'acide carbonique, en quantité notable, une partie du fer est oxydé et l'autre entre en solution.

Ainsi, pour 100 grammes de fer porphyrisé, traité dans ces conditions par une solution contenant $0^{gr},091$ de sulfate de potassium par litre, on dissout 14,8 0/0 de fer et 7,7 0/0 de fer se trouve oxydé.

Dans ce second traitement de l'eau contenant du sulfate de potassium, en présence de l'acide carbonique, il s'est produit une attaque du fer plus grande; la solution est devenue alcaline, et de plus le résidu contient du sulfure de fer.

D'après ce qui précède, les sulfates alcalins, pouvant exercer des influences corrosives à froid, auront une action plus sensible dans les eaux qui seront dans les générateurs de vapeur.

A la faveur de l'acide carbonique, l'action corrosive du sulfate alcalin est augmentée, comme l'est, du reste, en pareil cas, celle de tous les sels.

c) **Sulfures.** — On est exposé à rencontrer, dans les eaux, des sulfures et des sulfites, soit les acides de ces sels provenant de transformations successives qui résultent de la présence d'autres sels et des circonstances physiques dans lesquelles on se trouve.

Dans une collaboration savante, M. Ph. de Clermont a montré, avec M. J. Frommel, que les hydrates de sulfures se dissocient par la chaleur et que les sulfures qui, par l'ébullition de l'eau, ne se dissocient pas en hydrogène sulfuré, sont ceux qui ne se transforment pas en hydrates de sulfures dans les conditions de l'opération.

Les sulfures alcalino-terreux et alcalins sont des sels qui se dissocient facilement, il se forme de l'hydrogène sulfuré, et l'oxyde du métal alcalin est mis en liberté; on trouve, de plus, de l'hyposulfite de sodium, par suite de l'oxydation de l'hydrogène sulfuré :

$$4Na^2S + 4H^2O + 5O = S^2O^3Na^2 + 6\,[Na\,(OH)] + H^2S + S.$$

Dans les eaux, on rencontre souvent de l'hydrogène sulfuré, lorsque l'eau contenait primitivement des sulfates en présence des matières organiques.

Si, dans les générateurs de vapeur, l'eau introduite renferme des sulfates et des matières organiques, la haute température favorise l'action réductrice des sulfates, qui sont transformés en sulfures correspondants :

$$So^4Ca + C = 4Co + CaS.$$

Du reste, il nous a été facile de constater, dans des produits de corrosion provenant des générateurs de vapeur, la présence de composés sulfurés.

L'hydrogène sulfuré, provenant de la dissociation des sulfures, eu égard aux conditions particulières dans lesquelles s'effectuent les réactions produites dans les générateurs de vapeur, peut subir une oxydation et se transformer en acide sulfurique :

$$H^2S + 2O^2 = So^4H^2.$$

La formation de cet acide sulfurique entraîne nécessairement les réactions de corrosion, qui lui sont afférentes, examinées plus haut.

En considérant l'attaque directe du fer par l'hydrogène sulfuré, on obtient :

$$Fe + H^2S = FeS + H^2.$$

Ce sulfure de fer est un corps facilement dissociable ; en effet, il se transforme en hydrate de sulfure, qui fournit de l'hydrogène sulfuré :

$$FeS + H^2O = FeO + H^2S,$$

et, d'après les expériences de M. Ph. de Clermont, à partir de 50°, le sulfure de fer, en présence de l'eau dans le vide, dégage de l'hydrogène sulfuré.

d. **Sulfites.** — Reste maintenant à examiner l'acide sulfureux au point de vue corrosif.

L'acide sulfureux peut être soumis à une action oxydante dans les générateurs de vapeur :

$$So^2 + H^2O + O = So^4H^2;$$

il se forme de l'acide sulfurique, et nous sommes ramenés au cas de corrosion du fer par l'eau acidulée par l'acide sulfurique.

Il est à considérer aussi, l'action réductrice qui peut se faire sentir avec l'acide sulfureux sur les sels ferriques, sulfates et chlorures ; le sel de fer passe au minimum et l'acide mis en liberté est celui du sel générateur :

$$(So^4)^3Fe^2 + So(OH)^2 + H^2O = 2So^4Fe + 2So^4H^2.$$

Avec le sulfate ferrique, on obtient de l'acide sulfurique ; avec le chlorure ferrique, on obtient, en outre, de l'acide chlorhydrique.

$$Fe^2Cl^6 + So(OH)^2 + H^2O = 2FeCl^2 + So^4H^2 + 2HCl.$$

Par la considération des deux réactions précédentes, on voit que l'effet corrosif est augmenté et que les corps formés dans les seconds membres des deux équations sont d'une part des acides, d'autre part des sels ferreux, chlorures et sulfates, qui se transforment rapidement en sels ferriques corrosifs.

e) **Azotates.** — A propos des corrosions dues à l'eau acidulée par l'acide azotique, nous avons remarqué, précédemment, que l'azotate ferrique était un corps corrosif, et que, dans ces transformations, il mettait en liberté de l'acide azotique.

L'acide azotique des nitrates peut être mis en liberté,

lorsqu'il se trouve en présence d'un sel acide ou d'une eau rendue acide par les décompositions diverses des sels.

Ainsi, avec le sulfate acide de sodium, on a :

$$AzO^3Na + So^4NaH = So^4Na^2 + AzO^3H.$$

Cette mise en liberté de l'acide azotique provoque l'attaque du fer, selon les réactions étudiées précédemment; mais, si une eau contient à la fois en solution des chlorures et des nitrates, l'action corrosive combinée de ces deux sels devient particulièrement dangereuse, car, dans les générateurs de vapeur, il ne tarde pas à se produire de l'eau régale.

Ce cas nous a été confirmé par la pratique, et dans des produits provenant de corrosions énergiques du fer, nous avons décelé parfaitement l'association des chlorures et des nitrates, par les sels d'argent et le sulfate de diphénylamine.

La présence des nitrates dans les eaux est du reste fréquente, et on les oublie souvent dans la genèse des corrosions.

Nous avons vu, en effet, à propos des substances corrosives en solution dans l'eau, qu'au bord des rivages et dans toutes les eaux, aux endroits où viennent se déverser les égouts, se trouvent une quantité considérable de micro-organismes, tels que : les ferments ammoniacaux, nitreux et nitriques, qui président à la formation des nitrates.

Tableau des réactions de formations acides. — D'après ce qui précède, en analysant les eaux, on peut prévoir les phénomènes de corrosion par la qualification des corps qui y sont contenus, et on peut avoir des indications sur la force de l'activité corrosive par la détermination quantitative de ces substances.

Les tableaux suivants montrent les réactions qui peuvent se produire dans les générateurs de vapeur pour amener la formation des acides : chlorhydrique, sulfurique et azotique.

α) FORMATION DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE

CORPS EN PRÉSENCE	RÉACTIONS
Chlorure de magnésium et vapeur d'eau	$MgCl^2 + H^2O = MgO + 2HCl$
Sulfate de magnésium et chlorures alcalins	$So^4Mg + H^2O + 2NaCl = So^4Na^2 + MgO + 2HCl$
Silice et chlorures alcalins	$SiO^2 + 2NaCl + H^2O = SiO^3Na^2 + 2HCl$
Chlorure ferrique	$Fe^2Cl^6 + 3H^2O = Fe^2O^3 + 6HCl$
Chlorure ferreux	$3FeCl^2 + 4H^2O = Fe^3O^4 + H^2 + 6HCl$
Carbonate de magnésium et chlorures	$Co^3Mg + 2NaCl + H^2O = Co^3Na^2 + MgO + 2HCl$
Chlorure d'ammonium	$AzH^4Cl = AzH^3 + HCl$

β) FORMATION DE L'ACIDE SULFURIQUE

CORPS EN PRÉSENCE	RÉACTIONS
Sulfate ferrique normal	$2(So^4)^3 Fe^2 = (Fe^2O^3)^2 So^3 + 5So^3$
Sulfate ferreux	$3So^4Fe + 4H^2O = Fe^3O^4 + H^2 + 3So^4H^2$
Acide sulfureux, sulfite	$So^2 + H^2O + O = So^4H^2$
Acide sulfureux et sulfate ferrique	$SO(oH)^2 + (So^4)^3 Fe^2 + H^2O = 2So^4Fe + 2So^4H^2$
Acide sulfureux et chlorure ferrique	$Fe^2Cl^6 + So^2 + 2H^2O = 2FeCl^2 + 2HCl + So^4H^2$
Acide sulfhydrique, sulfures	$H^2S + 4O = So^4H^2$
Sulfate de calcium et matières organiques	$2So^4Ca + C + 3H^2O = Ca(OH)^2 + Co + 2So^4H^2$
Sulfate d'alumine	$(So^4)^3 Al^2 + 3H^2O = Al^2O^3 + 3So^4H^2$
Sulfate d'ammonium	$So^4(AzH^4)^2 = 2AzH^3 + So^4H^2$
Sulfate de cuivre	$So^4Cu + Fe = Cu + So^4Fe$

γ) FORMATION DE L'ACIDE AZOTIQUE

CORPS EN PRÉSENCE	RÉACTIONS
Azotate ferrique normal	$(Azo^3)^6 Fe^2$ = Azotate ferrique + AzO^3H
Azotate alcalin et sulfate acide ou acide sulfurique	$Azo^3Na + So^4NaH = So^4Na^2 + AzO^3H$
Azotate d'ammonium	$AzO^3AzH^3 = AzH^3 + AzO^3H$

γ) TRAITEMENT DES EAUX DE MER ET EAUX DE MINE

La considération analytique des eaux de mer et des eaux de mine nous amène à constater qu'il existe, entre elles deux, plusieurs points communs dans leur constitution.

Dans l'eau de mer comme dans l'eau de mine, la proportion de matières qui entre en solution y est très élevée.

Sans nous arrêter sur la composition de ces eaux, que nous avons eu l'occasion d'examiner dans un chapitre précédent, nous remarquons que certains sels doués d'une activité corrosive et incrustante particulière sont dans l'eau de mine et dans l'eau de mer.

Ainsi :

Sulfate de calcium.	Chlorure de sodium.
— magnésium.	— magnésium.
	— calcium.
	— potassium.

On peut donc dire qu'il existe plusieurs points de connexité entre ces deux eaux.

En effet, le sulfate de calcium qui forme la dominante incrustante est un élément qu'on rencontre tant dans l'eau de mer que dans l'eau de mine.

Il est évident que d'autres éléments, en solution dans l'eau, viennent renforcer cette charpente de sulfate de calcium; mais ce sel est celui qui est le plus dangereux, au point de vue des incrustations.

D'autres sels, parmi lesquels les chlorures, et en particulier celui de magnésium, qui sont communs à ces deux eaux, provoquent des corrosions.

En outre, le sulfate de magnésium, sous l'influence de substances diverses, subit des transformations d'où résultent des actions corrosives.

Les sels, à influence incrustante et corrosive, peuvent donc se ranger en deux groupes : les sulfates et les chlorures, et le traitement des eaux de mer et des eaux de mine reviendra donc à s'emparer de ces deux acides.

avec les corps qu'on rencontre le plus fréquemment en solution dans l'eau.

Régime des extractions. — Lorsqu'on vaporise de l'eau de mer, à cause de sa forte teneur de sels en solution, le concentration de cette eau provoque rapidement des dépôts de matières salines, qui s'effectuent d'après leur coefficient de solubilité.

Le sel marin, substance constitutive des eaux de mer par excellence, forme des amas d'obstruction qui rompent toute marche régulière de la vaporisation.

Cet inconvénient se fait particulièrement sentir dans les chaudières multibulaires, comme celles des torpilleurs.

Il s'ensuit d'abord une perte notable de combustible, par la mauvaise transmission de la chaleur à travers ces dépôts salins, et finalement l'arrêt de la machine.

En même temps que le chlorure de sodium, d'autres sels se déposent en proportion, plus ou moins grande, il est vrai, mais qui contribuent cependant à exercer des actions nuisibles par leur précipitation ou leur décomposition.

Le sel marin est alors accompagné du sulfate de calcium, corps éminemment incrustant, et par la décomposition de sels facilement dissociables, comme le chlorure de magnésium, il s'exerce une action corrosive.

Le remède à apporter est bien simple en théorie : il s'agit de faire une provision d'eau douce convenable, c'est-à-dire qui ne soit ni calcaire, ni séléniteuse, et de l'employer à l'alimentation des chaudières marines.

On peut donc faire le plein à l'eau douce, et, pour éviter l'emploi de quantités d'eau douce par trop considérables, qu'il est impossible d'emporter à bord, on utilise les produits résultant de la condensation de la vapeur, en employant les condensateurs de surface.

De l'emploi de ces appareils qui se trouvent dans toutes les machines marines en service, il résulte, malgré tout, de nombreuses pertes d'eau ; aussi est-on obligé, pour réparer

les pertes, d'épuiser sa provision d'eau douce ou de recourir à l'eau de mer.

C'est le recours à l'eau de mer qu'il est intéressant d'examiner, l'autre cas ne présentant aucune difficulté.

La première précaution à prendre est d'éviter les dépôts de sel marin ; on peut le faire en se référant au coefficient de solubilité de ce sel, et, par conséquent, en prenant le degré de concentration de l'eau de mer, soumise à la vaporisation dans le générateur de vapeur.

Aussitôt le degré de concentration atteint, voisin de son coefficient de solubilité à la température du moment, on rejette à l'extérieur l'eau de concentration par un robinet d'évacuation, puis on introduit l'eau de mer.

Il est donc utile de connaître à quel moment les dépôts de sel marin commenceront à se former ; aussi allons-nous déterminer les conditions dans lesquelles ils ont lieu.

Pour mesurer cette concentration, on se sert d'un pèse-sel ; cet appareil est un aéromètre à poids constant en maillechort, sur la tige duquel le 0 de la graduation correspond au point d'affleurement dans l'eau distillée, et le nombre 10 à celui d'une solution contenant 350 grammes de sel marin pour 1.000 centimètres cubes d'eau.

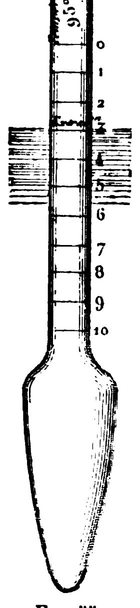


Fig. 55. Pèse-sel dit : saturomètre.

On estime que la température de l'eau provenant de la condensation de la vapeur qui sort du générateur est de 95° ; aussi les graduations de l'aéromètre sont-elles faites à cette température, et l'intervalle compris entre 0 et 10 est divisé en 10 parties égales, si bien que 1° lu sur le pèse-sel équivaut à une augmentation de 35 millièmes dans la concentration de l'eau de mer.

Par conséquent, si l'on a trouvé n degré au pèse-sel dans une détermination, c'est que la concentration de l'eau dans le générateur est de $n \times 0{,}035$.

Pour les différents nombres de la graduation du pèse-sel, on aura le tableau de concentration suivant :

DEGRÉ du pèse sel	CONCENTRATION	DEGRÉ DU PÈSE-SEL	CONCENTRATION
1	0,035	6	0,210
2	0,070	7	0,245
3	0,105	8	0,290
4	0,140	9	0,325
5	0,175	10	0,350

Lorsqu'on veut connaître le degré de concentration, à un moment quelconque, de l'eau qui se trouve dans la chaudière, on la fait couler par un robinet. Cette eau se déverse dans un entonnoir qui se termine par un tuyau allant au fond d'une éprouvette, au-dessous de laquelle se trouve une cuvette destinée à recevoir son trop-plein ; puis on y plonge le pèse-sel.

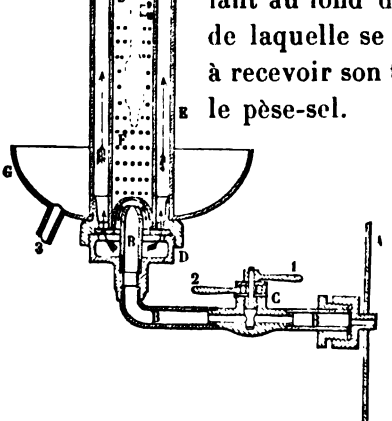


Fig. 56. — Appareil servant aux prises de degré de salure de l'eau de mer.

Établissement des formules. — Supposons qu'on ait trouvé δ, comme point d'affleurement lu sur l'appareil ; ce nombre correspond donc à $0{,}035 \times \delta$ et. du reste, il est fourni par le tableau.

Si π est le poids de l'eau contenu dans le générateur et x le poids total des matières salines qui se trouvent dans cette eau, on aura la formule générale :

$$x = 0{,}035 \times \delta\pi.$$

Il est évident que cette formule permet de prendre une

lettre quelconque pour inconnue et de faire les calculs, suivant l'inconnue considérée.

Connaissant la concentration de l'eau, on peut savoir quand se produiront des dépôts salins.

Ces dépôts auront lieu au moment où la concentration de l'eau dans le générateur, à une certaine température, correspondra au coefficient de solubilité du chlorure de sodium, considéré à la même température.

Dans une dissolution saline, la concentration d'un liquide par rapport au sel qui y est contenu est le rapport du poids du sel dissous complètement au poids total de la dissolution.

En désignant par σ le coefficient de solubilité du sel marin à la température t du générateur, et par x' le degré de concentration de la solution saline à cette température, on aura :

$$\frac{\sigma}{1000 + \sigma} = x'.$$

D'après cette formule, on pourra donc savoir quelles seront les conditions de formation du dépôt.

Pour simplifier les calculs, afin de se trouver dans des conditions favorables, admettons que la température soit de 95°, et remplaçons, dans l'équation précédente, les lettres par leur valeur, et prenons pour coefficient de solubilité du sel marin, à 95°, le nombre 0,392, l'équation deviendra alors :

$$x' = \frac{392}{1392} = 0{,}281.$$

Application des formules. — Cherchons maintenant, dans le tableau de concentration dressé précédemment, à quel degré du pèse-sel correspond ce nombre de concentration, 0,281.

Nous voyons qu'il correspond à 7°,8 de la graduation lue sur la tige du pèse-sel.

Donc, lorsque le pèse-sel marquera 7°,8 dans l'eau à 95°

provenant de la chaudière, il se formera des dépôts de sel marin.

Les résultats fournis par la méthode ne sont qu'approchés, car il ne faut pas oublier les actions que peuvent exercer les autres sels en solution.

Pour plus de précaution : dans la Marine, on convient de se tenir loin de cette limite et, par suite, de ne pas dépasser 3° de concentration marqué au pèse-sel.

Aussitôt que le pèse-sel marque 3°, on procède au régime des extractions, qui se fait par un robinet, spécialement affecté à cette opération.

Ce robinet est situé à la base de la chaudière, et un tuyau pénètre dans l'intérieur pour extraire l'eau lourde de concentration, dont l'ascension est facilitée par la pression intérieure.

Autre formule. — Pour faire des extractions périodiques suffisamment rapprochées, on détermine la proportion à établir entre le poids à extraire et celui de la vapeur formée dans l'intervalle de deux purges.

M. Haton de la Goupillière a calculé d'une façon élégante cette proportion.

Appelons P le poids total de l'eau du générateur au moment de commencer l'opération.

Soit p, le poids volatilisé entre deux purges, et π, celui qu'on extrait chaque fois.

Enfin, désignons par S le degré de salure au moment de l'extraction, et σ celui de l'Océan.

L'opération est ainsi conduite, avant d'enlever π ; on restitue d'abord la moitié, c'est-à-dire $\frac{\pi}{2}$ en eau de mer naturelle, et le contenu total du générateur devient alors :

$$P + \frac{\pi}{2}.$$

On extrait ensuite le poids π de ce mélange.

Dans la chaudière, il reste $P - \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire une quantité de sel égale à $\left(P - \frac{\pi}{2}\right) S$.

Après, on introduit ce qui reste d'eau naturelle, c'est-à-dire $\frac{\pi}{2}$, qui entraîne son action saline ou salure $\frac{\pi}{2}\sigma$.

Jusqu'à l'extraction suivante, la vaporisation se produit, et il se vaporise un poids p d'eau distillée.

Mais ce poids d'eau vaporisée est remplacé par l'alimentation normale, par un poids p d'eau de mer qui apporte, dans le générateur, une quantité de sel égale à $p\sigma$.

Par ce qui précède, on voit quelle est la provenance du sel dans les générateurs.

En représentant par Σ la teneur limite que l'on ne veut pas dépasser, on aura pour ce total $P\Sigma$:

$$(1) \qquad P\Sigma = \left(P - \frac{\pi}{2}\right) S + \left(\frac{\pi}{2} + p\right) \sigma.$$

Considérons l'extraction suivante, on ajoute d'abord un poids $\frac{\pi}{2}$ d'eau de mer qui entraîne un poids $\frac{\pi}{2}\sigma$ de salure.

Si l'on rapporte ce fait au total précédent exprimé dans l'équation (1), on aura :

$$\left(P - \frac{\pi}{2}\right) S + (p + \pi)\sigma.$$

poids de sel qui est à ce moment contenu dans la quantité d'eau $P + \frac{\pi}{2}$.

Déduisons maintenant la valeur du degré S de salure, au moment de l'extraction :

$$S = \frac{\left(P - \frac{\pi}{2}\right) S + (p + \pi)\sigma}{P + \frac{\pi}{2}},$$

ou :

$$S = \frac{p + \pi}{\pi}\sigma.$$

En portant cette valeur de S dans l'équation (1), on aura :

$$P\Sigma = \left(P - \frac{\pi}{2}\right)\frac{p + \pi}{\pi}\sigma + \left(p + \frac{\pi}{2}\right)\sigma,$$

ou :

$$\frac{P\Sigma}{\sigma} = P\left(1 + \frac{p}{\pi}\right) + \frac{p}{2},$$

et enfin :

$$\frac{p}{\pi} = \frac{\Sigma - \sigma}{\sigma} - \frac{1}{2}\frac{p}{P},$$

Nous avons ainsi la valeur que nous cherchions, valeur qu'il faut donner au poids π de l'extraction, en fonction de la durée de la période d'extraction du degré limite de salure Σ que l'on ne veut pas dépasser, et de l'importance de la chaudière, représentée par P, poids total de l'eau du générateur.

Notons en outre, que pendant deux purges consécutives, on a vaporisé un poids p.

Concevons l'alimentation continue; p et π s'annulent ensemble; mais leur rapport converge vers la limite :

$$\frac{p}{\pi} = \frac{\Sigma - \sigma}{\sigma}.$$

Si l'on concentrait au décuple, par exemple, on aurait :

$$\Sigma = 10\,\sigma,$$

et ensuite :

$$\frac{\pi}{p} = 0{,}11.$$

On doit donc extraire 110 grammes d'eau-mère par kilogramme de vapeur formée.

Il est nécessaire d'envisager aussi la question du sulfate de calcium corps préjudiciable, contenu dans l'eau de mer.

Influence des substances qui restent après le régime des extractions. — Tout d'abord on doit condamner cette pratique, qui a pour but de commencer par déposer une couche de sulfate de calcium dans les chau-

dières marines, en faisant le plein avec des eaux séléniteuses, sous prétexte d'éviter l'action corrosive des eaux de mer.

Que résulte-t-il des dépôts incrustants ; — tous les inconvénients que nous avons examinés à propos des eaux incrustantes ; la mauvaise transmission de la chaleur suffit seulement à faire rejeter ce palliatif.

En outre, l'eau de mer contient du sulfate de calcium ; et, malheureusement, ce dépôt se fera assez vite et sans le vouloir ; on voit que, dans ces conditions, on n'a même pas besoin de recourir à une eau spécialement séléniteuse.

En employant un tel procédé, on ne fait qu'augmenter la couche du dépôt incrustant particulièrement nuisible et entraver rapidement le bon fonctionnement des générateurs.

Par le régime des extractions, nous avons vu qu'on parvenait à éliminer en grande partie le sel marin ; mais, vers 140°, le sulfate de calcium se dépose, en produisant des incrustations dont l'importance devient d'autant plus considérable que les extractions sont plus fréquentes.

On s'expose donc à avoir des amas incrustants de sulfate de calcium, qui obligent à arrêter la marche des machines ; il est alors de tout intérêt de s'en préserver.

Quant aux sels corrosifs, comme le chlorure de magnésium, la dissociation de ce sel s'effectue, malgré le régime des extractions ; il produit donc des effets d'attaque des parois du générateur ; on doit donc aussi s'en préserver.

Du reste, nous avons eu l'occasion d'examiner trois échantillons de dépôts provenant de chaudières marines ; ils nous ont fourni les résultats suivants :

	N° 1	N° 2	N° 3
Sulfate de calcium	71,20	64,09	77,85
Sels de magnésium calculés en MgO.	7,15	8,25	4,37
Sulfate de sodium	2,97	4,86	3,98
Chlorure de sodium	0,31	0,67	0,56
Oxyde ferrique	17,05	18,93	10,63
Matières organiques	0,93	2,89	2,11
Pertes et matières diverses	0,39	0,31	0,50
	100,00	100,00	100,00

Le deuxième échantillon renferme une proportion notable de matières organiques, qui fait prévoir la présence des nitrates dans le dépôt : en effet nous avons pu déceler très facilement l'azote nitrique par le sulfate de diphénylamine.

Si nous considérons le fer provenant de l'action corrosive, nous voyons que l'échantillon n° 2 a fourni la plus forte proportion d'oxyde de fer qui correspond, en effet au chiffre le plus élevé trouvé pour les sels de magnésium dans les trois échantillons.

Dans le n° 3, où les composés du magnésium sont en proportion bien moins grande que dans les deux autres échantillons, nous constatons que, de même, le produit résultant de l'action corrosive : l'oxyde ferrique, est aussi moins fort.

Les trois échantillons sont composés, en plus, d'une notable proportion de sulfate de calcium, qui montre bien les incrustations dangereuses que provoquent ce sel dans l'alimentation des chaudières marines à l'eau de mer, même en leur faisant subir le régime des extractions.

Puisque, même dans ces conditions, les sels incrustants et corrosifs de l'eau de mer exercent leur action, on doit donc recourir à d'autres moyens.

REMÈDES CONTRE L'ACTION INCRUSTANTE ET CORROSIVE DES EAUX DE MER ET DE MINE

Dans les eaux de mer et les eaux de mine, on a donc à éviter en même temps deux ordres d'inconvénients : les incrustations et les corrosions, qui sont des plus dangereuses pour les générateurs.

Nous avons vu que ces actions, bien que différentes, doivent leur origine à des substances qu'on peut ranger en deux groupes, par les acides qui les composent.

Les chlorures et les sulfates forment ces deux sels, qu'il s'agit de combattre, et pour lesquels il faut chercher le remède à apporter.

Pour combattre l'effet des eaux incrusto-corrosives, les eaux de mine et de mer et presque toutes les eaux qui provoquent des corrosions, car elles fournissent en même temps des incrustations, il faut apporter un remède qui ait non seulement son influence sur les formations incrustantes, mais encore sur les actions corrosives, sans introduire dans la masse aqueuse de substances pouvant augmenter l'un de ces effets, tout en diminuant ou supprimant l'autre.

Nous verrons que bien peu des remèdes préconisés agissent dans ces conditions.

Zinc. — L'emploi du zinc permet bien de remédier à l'effet corrosif des eaux, mais il empêche incomplètement les incrustations de se produire.

En faisant usage du zinc dans les générateurs de vapeur, on reporte l'action corrosive de l'eau sur ce corps, au lieu de la laisser s'exercer sur le fer.

Ces constatations furent faites en 1881, dans les chaudières d'un vapeur appartenant à M. B. Normand; on remarqua que, dans l'une des chaudières où se trouvaient des entretoises en laiton, il n'y avait pas de corrosion; mais, par contre, le zinc avait complètement disparu, en laissant seulement le cuivre à nu.

D'après M. Lesueur, lorsque deux métaux de nature différente se trouvent en présence dans un milieu conducteur, il y a formation d'un courant électrique qui va du métal le plus attaqué à celui qui l'est le moins, et qui décompose l'eau en ses éléments, dont l'oxygène se porte sur le zinc qu'il oxyde, et l'hydrogène mis en liberté s'en va sur le fer, jouant alors le rôle d'électrode positive.

Dans ce couple électro-chimique, il se produit une polarisation du fer. L'hydrogène forme donc sur le fer une véritable gaine préservatrice contre toute oxydation.

On attribue encore à cet hydrogène un certain obstacle aux dépôts incrustants, mais qui finissent toujours, cependant, par faire sentir leurs inconvénients.

On introduit généralement, dans la marine, 1 kilogramme de zinc pour les grandes chaudières, et 400 grammes pour celles des torpilleurs par mètre carré de surface de chauffe.

Il faut avoir soin d'enlever de temps en temps la couche d'oxyde de zinc formé, afin de ne pas s'exposer à ce que le zinc devienne complètement inefficace, car son oxyde, qui le recouvre, s'oppose à son attaque et, par suite, à la formation du courant électrique.

Lorsqu'on emploie des plaques de zinc, on les suspend par des crochets métalliques conducteurs aux tirants de la chaudière.

Électrogènes. — On se sert encore de boules de zinc dans l'électrogène d'Hannay; la sphère de zinc est traversée par une barre de cuivre qu'on fait communiquer par des fils conducteurs aux parois du générateur, et l'appareil est supporté par des crochets aux tirants de la chaudière.

Dans les eaux de mine, comme dans les eaux de mer, le zinc agit donc par la formation des courants électriques, résultant de leur acidité, qui se manifestent par la mise en liberté de l'acide chlorhydrique ou de l'acide sulfurique, ce dernier pouvant se trouver dans les générateurs alimentés avec l'eau de mine.

L'électrogène Baker est constitué par un système ayant pour but de recueillir l'électricité dégagée par la vapeur, au moyen de pointes métalliques disposées convenablement.

On obtient ainsi une machine hydro-électrique, les pointes métalliques sont disposées en étoile et communiquent à la chaudière par un fil de cuivre.

La vapeur produit de l'électricité, qui s'écoule de l'étoile dans le fil conducteur et va à la chaudière.

Les particules solides, qui sont en suspension, se chargent d'électricité de même nom que les tôles, au moment où elles se déposent à leur surface, mais sont aussitôt repoussées, en vertu des lois électriques, ce qui empêche leur adhérence.

Chaux. — Dans la marine, on préconise, pour éviter les corrosions, de rendre l'eau légèrement basique avec de la chaux.

Pour faire le plein des chaudières multitubulaires, on emploie l'eau douce, à laquelle on ajoute généralement 1 kilogramme de chaux par tonneau d'eau.

Certainement cela contribue à atténuer les corrosions; mais, au point de vue des incrustations, cela ne fait que les augmenter.

Si la chaux introduite est en quantité suffisante, elle doit neutraliser toutes les actions acides qui peuvent se former et précipiter aussi les oxydes métalliques et l'oxyde de magnésium :

$$So^4Mg + Ca(OH)^2 = So^4Ca + Mg(OH)^2.$$

Par la dissociation du chlorure de magnésium, il se forme de l'acide chlorhydrique qui, en réagissant sur la chaux, donne du chlorure de calcium, corps beaucoup plus stable, en effet, que le chlorure de magnésium, mais cependant susceptible d'actions corrosives.

Les sulfates contenus dans l'eau de mer et de mine peuvent donner du sulfate de calcium ; il viendra s'ajouter à celui qui existe déjà, et cela ne fera qu'augmenter le pouvoir incrustant.

Dans les eaux de mine, la proportion souvent élevée des sulfates qui s'y trouvent augmente très notablement les incrustations.

En vue de combattre les dépôts incrustants dans les chaudières alimentées avec des eaux de mine, M. de Sénarmont ajoutait, à la chaux, de l'argile très fine.

Il est évident qu'on aurait avantage à faire l'épuration de l'eau en dehors des chaudières.

Pour les eaux de mer, M. Stapfer a proposé l'emploi de la chaux en excès, qui précipite toute la magnésie.

L'excès de chaux, en dissolution dans l'eau, est ensuite enlevé par une carbonatation énergique, à l'aide de l'acide

carbonique des gaz pris à la cheminée au moyen d'un injecteur Kœrting.

Dans l'eau, il ne reste plus que du chlorure de sodium, du sulfate et du chlorure de calcium.

Le sulfate de calcium peut être éliminé par du carbonate de sodium.

Quant à la filtration, on peut la faire rapidement dans une turbine, avec des tissus filtrants et en employant l'amiante, lorsqu'on s'est servi du carbonate de sodium.

Carbonate de calcium. — L'emploi du carbonate de calcium a été préconisé par M. Lechatelier, professeur à l'École des Mines, qui a montré, dans une étude approfondie, les services que pouvait rendre, pour les eaux de mine, ce remède peu coûteux.

Par l'introduction du carbonate de calcium dans les chaudières alimentées avec les eaux de puits de mine, les sulfates de peroxyde de fer et d'alumine se décomposent, et leurs oxydes de fer et d'aluminium sont précipités; l'acide sulfurique est alors saturé, et il y a formation de sulfate de calcium.

Quant au sulfate de magnésium contenu dans l'eau, il ne subit pas de décomposition comme avec la chaux.

En employant le carbonate de calcium, on ne diminue pas la quantité de sulfate de calcium, contenue primitivement dans l'eau de mine; mais il paraîtrait que la ténuité de la craie atténuerait la cristallisation du sulfate de calcium.

Soude et potasse. — En vue des corrosions, la soude et la potasse sont des remèdes efficaces; mais il ne faut pas oublier que ce sont des produits coûteux.

On remplace souvent la chaux, dans les chaudières multitubulaires, par la soude.

Avec les eaux de mine, la soude est aussi employée; les sels ferriques sont précipités, mais le sulfate d'alumine ne l'est pas, car l'alumine se redissout dans un excès de réactif.

La soude agit sur le chlorure de magnésium, en précipitant de l'oxyde de magnésium et en neutralisant son acide chlorhydrique.

Sur le sulfate de calcium, la soude n'a guère d'action; mais cependant, si l'eau contient du carbonate de calcium, il y a formation de carbonate de sodium et, par suite, précipitation du sulfate de calcium.

Carbonate de sodium. — Le carbonate de sodium constitue un remède de premier ordre contre les eaux incrusto-corrosives; il combat aussi bien l'influence incrustante que l'influence corrosive des eaux de mer et des eaux de mine.

Dans son emploi, le carbonate de sodium demande la mise en œuvre de quelques considérations, d'où résulte son efficacité.

Sur les sels de magnésium, corps éminemment corrosifs, l'action est manifeste :

$$2MgCl^2 + 2Co^3Na^2 + H^2O = 4NaCl + Co^2 + \overbrace{Co^3Mg + Mg(OH)^2},$$
$$4So^4Mg + 4Co^3Na^2 + H^2O = 4So^4Na^2 + \overbrace{3Co^3Mg + Mg(OH)^2} + Co^2.$$

Si cette précipitation est faite à froid, elle est incomplète; même avec un excès de carbonate de soude, il y a dégagement d'acide carbonique et formation de bicarbonate de magnésium qui reste en solution.

Mais, si la précipitation est effectuée à chaud, comme dans les chaudières, elle se fera complètement; on obtiendra un précipité, de formule :

$$Mg \left< \begin{matrix} O.Co^2(MgOH) \\ O.Co^2(MgOH) \end{matrix} \right. + 2H^2O.$$

Pour les eaux de mine, où l'influence corrosive est exercée surtout par les sulfates de fer et d'alumine, les oxydes

métalliques seront précipités par le carbonate de sodium avec formation de sulfate de sodium :

$$(So^4)^3Fe^2 + 3Co^3Na^2 + 3H^2O = 3Co^2 + 3So^4Na^2 + Fe^2(OH)^6,$$
$$(So^4)^3Al^2 + 3Co^3Na^2 + 3H^2O = 3Co^2 + 3(So^4Na^2) + Al^2(OH)^6.$$

Nous voyons que les actions corrosives des eaux de mer et des eaux de mine sont évitées par le carbonate de sodium; quant aux influences incrustantes, nous avons vu que le carbonate de sodium agit énergiquement en précipitant le sulfate de calcium à l'état de carbonate de calcium.

Dans les chaudières marines, on emploie beaucoup la chaux, la soude et le zinc; mais, à vrai dire, le carbonate de soude, remède économique, dont nous venons de montrer l'efficacité envers les eaux incrusto-corrosives, n'est pas employé, ce qui est un tort.

Baryte. — La baryte est aussi une substance de premier ordre pour les eaux incrusto-corrosives : les eaux de mer ou les eaux de mine.

Elle agit non seulement sur les incrustations, mais aussi sur les corrosions.

Pour ce qui est des incrustations, nous avons examiné les effets, et nous savons qu'elle transforme le sulfate de calcium en sulfate de baryum, dénué de toute adhérence.

Vis-à-vis des corps corrosifs, la baryte agit aussi énergiquement; ainsi, avec le chlorure de magnésium, lorsqu'on la précipitation à l'ébullition, l'oxyde de magnésium se fait précipite rapidement :

$$MgCl^2 + Ba(OH)^2 = BaCl^2 + Mg(OH)^2.$$

Ajoutons que le chlorure de baryum, obtenu, peut précipiter à son tour le sulfate de calcium.

Sur les sulfates de fer et d'alumine, renfermés en grande proportion dans les eaux de mine, il y a aussi précipitation de l'oxyde métallique correspondant et saturation de l'acide sulfurique par la baryte pour donner du sulfate de baryum :

$$(So^4)^3Fe^2 + 3Ba(OH)^2 = 3So^4Ba + Fe^2(OH)^6.$$

Nous voyons donc que la baryte combat avec efficacité les incrustations et les corrosions; elle est donc bien plus avantageuse que la chaux qui, au lieu de supprimer les incrustations, les augmente.

Il y a donc avantage à remplacer la chaux par la baryte dans le traitement des eaux incrusto-corrosives.

Carbonate de baryum. — Avec les eaux de mine, le carbonate de baryum, produit familier en sucrerie, peut donner de bons résultats; il précipite en effet, même à froid, les oxydes métalliques des sels qu'on a à combattre le plus, c'est-à-dire le sulfate de fer et le sulfate d'alumine.

Mais, dans une eau qui contient du chlorure de magnésium, le carbonate de baryum n'agit pas sur lui comme anti-corrosif.

Borates et silicates alcalins. — Nous avons examiné l'influence de quelques sels sur les eaux incrusto-corrosives.

En employant le borax ou tétraborate de sodium $Bo^4O^7Na^2$, on précipite, dans les eaux de mine, les sels de fer et d'alumine, même à froid ; il en est de même pour les combinaisons calciques, qui donnent un borate de calcium Bo^4O^7Ca.

Les acides des sels précipités par le borax sont saturés par le métal alcalin et forment des sels correspondants.

Quant aux sels de magnésium, le borax, qui ne les précipite pas à froid, donne avec eux à chaud un précipité blanc de borate normal ou orthoborate de magnésium $(BoO^3)^2 Mg^3$.

Malheureusement, le borax est un remède coûteux, bien qu'on puisse, à la rigueur, traiter les précipités obtenus pour acide borique.

Le silicate de potassium donne de bons résultats avec les eaux incrusto-corrosives ; relativement aux sels incrustants de calcium, ces sels sont précipités sous forme de corps gélatineux, blanchâtre, insoluble dans l'eau, $CaO3SiO^2 + H^2O$.

Les sels de magnésium sont aussi précipités sous forme

d'un produit gélatineux blanc $(SiO^3)^3 MgH^4$ par le silicate de sodium.

Quant aux sels de fer et d'aluminium, ils donnent des précipités de silicates correspondants.

Les silicates alcalins conviennent donc parfaitement pour combattre l'influence incrustante et corrosive des eaux.

δ, EAUX GRAISSEUSES

a) **Eaux graisseuses d'origine végétale et animale.** — A peine les condenseurs de surface venaient-ils d'apparaître à bord des navires que toutes les puissances marines s'apercevaient que, loin de donner les résultats qu'on attendait, les corrosions devenaient plus nombreuses qu'avec les anciennes machines non munies de condenseur à surface.

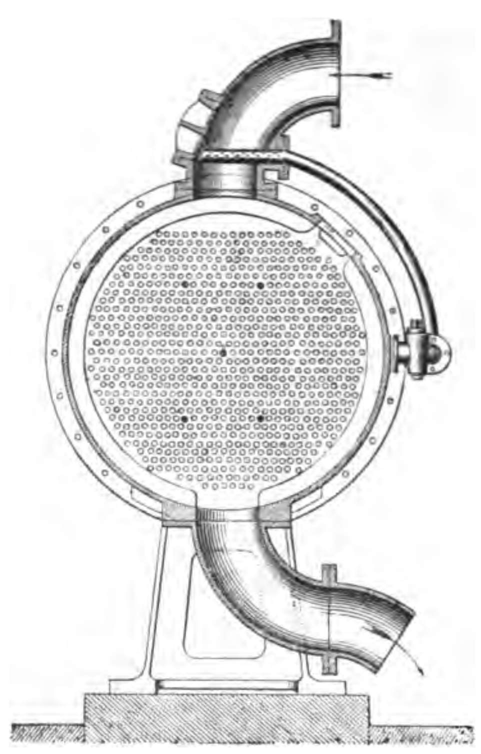


Fig. 57. — Condenseur de surface (coupe transversale).

Il fut aussitôt prescrit des enquêtes dans tous les pays afin de déterminer les raisons de ces corrosions.

On trouvait, dans les chaudières, des dépôts graisseux contenant une grande quantité de fer, qui adhéraient fortement aux parois des générateurs.

Les tôles n'étant plus mouillées, il se produisait : des coups de feu, des fentes aux rivures et des cassures.

Il fut émis plusieurs hypothèses; mais, celle qui semble

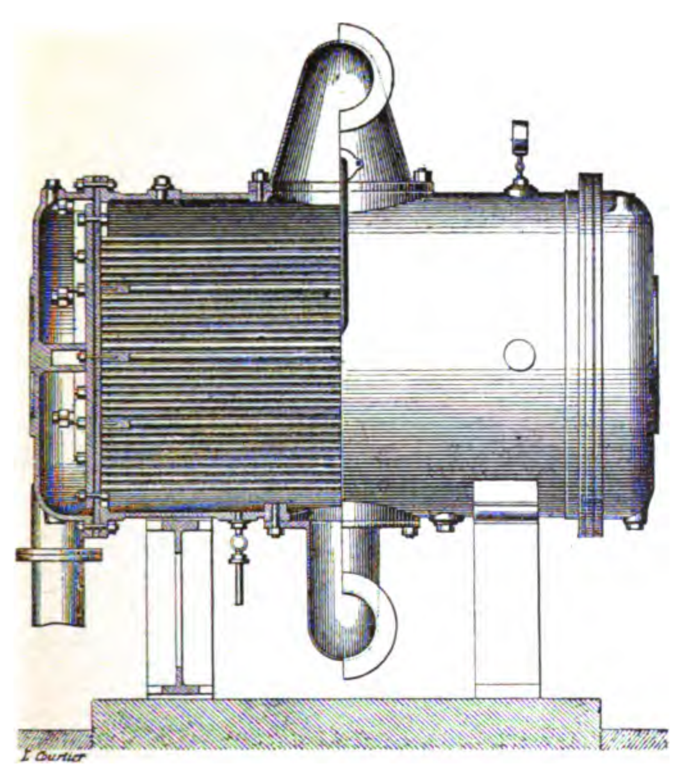


FIG. 58. — Condenseur de surface (coupe longitudinale).

la plus rationnelle, est la décomposition des huiles saponifiables.

Par le passage des huiles végétales et animales dans les cylindres et entre les parties frottantes des pistons, il y a décomposition de ces huiles par la haute température.

Cette décomposition se fait, suivant le mode de préparation industrielle de la glycérine; et de là il résulte la mise en liberté de la glycérine, d'une part, qui se dissout dans l'eau ; et des acides gras, d'autre part.

Ces acides gras sont entraînés par la vapeur, avec l'huile, qui peut ne pas avoir été complètement décomposée, et pénètrent dans la chaudière, dont les parois sont attaquées rapidement.

Ces corrosions se produisent surtout dans les endroits où les tôles sont les plus chauffées et où l'eau est la plus tranquille.

Il résulte, d'après M. Ortolan, mécanicien en chef de la Marine française, qu'on fit des analyses du produit de corrosion à l'arsenal américain de Brooklyn; elles montrèrent la présence de l'oléate de cuivre et de zinc.

Le chimiste de l'arsenal de Brooklyn conclut de là : qu'il y avait attaque d'abord des pièces en cuivre par les acides gras, et que l'oléate de cuivre subissait une décomposition de la part du fer des parois de la chaudière.

Cependant il n'est pas nécessaire que le cuivre soit présent pour qu'il y ait corrosion du fer; si, dans beaucoup de corrosions du fer, on trouve du cuivre, on constate aussi qu'il n'est pas en rapport avec la grande quantité d'oxyde de fer formé et avec la proportion d'acides gras trouvée dans la chaudière.

Si l'on considère les expériences faites par M. Mercier, ses analyses ont fourni pour un dépôt graisseux dans les boîtes à tiroirs :

Peroxyde de fer	91,55
Acide oléique	5,60
Huile non altérée	2,60
Pertes	0,25
	100,00

Il exposa pendant huit jours, dans un réservoir à vapeur qui faisait fonctionner des pilons, un sceau rempli de copeaux de fer imprégnés d'huile de colza neutralisée.

Au bout de ce laps de temps, il retira 1/2 litre environ d'une huile brune, très épaisse, ayant une odeur d'ail semblable à celle qui se dégage de l'attaque du fer par un acide·

Cette huile put se dissoudre complètement dans l'éther et contenait 7 0/0 de fer.

Le fer avait été très attaqué par l'acide oléique, provenant de la décomposition de l'huile, et il s'était formé de l'oléate de fer.

Au contact de l'air, cet oléate de fer s'était oxydé et avait abandonné du peroxyde de fer ; cet abandon provoqua une nouvelle attaque du fer.

Plus la température sera élevée dans la chaudière, et par suite la pression, plus l'attaque sera énergique.

L'usure provoquée par les dépôts graisseux est extrêmement rapide, et de nombreuses chaudières marines ont subi des détériorations des plus sérieuses.

Nous citerons, par exemple, les chaudières du *Richelieu*, qui furent chauffées pour la première fois, le 26 avril 1875 ; elles avaient eu 2.880 heures de chauffe, lorsqu'une dépêche ministérielle du 30 janvier 1880 prescrivit des réparations, qui furent exécutées.

Les tôles n'avaient plus guère que 4 à 5 millimètres d'épaisseur, et l'une d'elles présentait un trou recouvert de rouille.

D'après le rapport de M. l'ingénieur Dupont, on trouva 2.860 kilogrammes de matières, formées d'un mélange d'oxyde, de fer et de sel dans les corps réparés.

En consultant le registre du bord, on constate que les quantités de sel extrait chaque année ont été :

1876................................	1.786	kilogrammes.
1877................................	240	—
1878................................	1,828	—
1879................................	8,808	—
et en 1880................................	28,680	—

pendant la refonte effectuée à Toulon.

Tous les dépôts trouvés dans les différents foyers furent

mélangés et donnèrent à l'analyse :

Sesquioxyde de fer	79,000
Corps gras	8,000
Acide sulfurique	2,103
Chaux	2,016
Potasse et soude	1,600
Acide carbonique	1,584
Eau	1,400
Oxyde de zinc	1,934
Chlore	0,895
Magnésie	0,610
Oxyde de cuivre	0,532
Perte	0,326
	100,000

Pour éviter les effets absolument désastreux des eaux graisseuses, différents remèdes furent préconisés, et M. Hétet proposa la chaux.

Avec la chaux, l'acide oléique se combine pour donner de l'oléate de calcium, poudre excessivement fine et spongieuse.

Cette poudre peut être entraînée facilement dans les chaudières, où elle flotte sur le liquide et se dépose, quand le feu est arrêté, sous forme de sable oolithique, qui n'est pas adhérent.

Théoriquement, il faut 1/8 de chaux hydratée pour 1 partie de corps gras; mais, dans la pratique, on double la proportion de chaux.

Pour l'eau distillée, servant à la boisson, on ferait passer cette eau ainsi traitée sur du noir animal.

La soude employée pour les eaux graisseuses coûte cher et forme des savons alcalins solubles, qui sont entraînés dans la chaudière.

On emploie aussi, pour épurer ces eaux, des appareils contenant de la chaux et munis de filtres; l'un d'entre eux, dû à M. Selden, que nous examinerons dans le paragraphe réservé aux filtres industriels, a de nombreuses applications en Amérique.

Ajoutons qu'il est bon d'empêcher l'entraînement du savon oléo-calcaire formé, soit dans l'épuration à la chaux, soit par la combinaison des acides gras avec les sels calciques, qui se trouvent dans l'eau du générateur.

Ce savon calcaire, excessivement léger, a l'inconvénient de ne pas se laisser mouiller par l'eau, d'autant plus qu'il est souvent enrobé par de l'huile non décomposée.

b) **Eaux graisseuses d'origine minérale.** — Depuis quelques années on se sert, sur beaucoup de machines, pour le graissage des cylindres et tiroirs, de produits d'origine minérale.

Les huiles épaisses minérales américaines sont surtout employées à cet effet.

Mais, malgré que les carbures d'hydrogène, qui composent la série de ces huiles minérales, ne subissent pas de décompositions analogues aux huiles d'origine végétale et animale, il n'en existe pas moins, comme ces dernières, des entraînements dans les chaudières, qui engendrent des dépôts graisseux.

Lorsqu'on vide la chaudière, l'huile se mélange à l'oxyde de fer et forme un enduit adhérent sur les tôles, qui empêche la bonne transmission de la chaleur et forme un élément dangereux; la vaporisation se produit difficilement, et, par suite de cette mauvaise conductibilité, la surchauffe des tôles a lieu.

On doit donc se préserver le plus possible des entraînements d'huile minérale dans les chaudières, bien qu'elles ne procurent pas de corrosions.

Plusieurs moyens sont employés; l'un d'eux, préconisé par M. Normand, consiste à se servir d'un filtre à éponge, qui est maintenant sur tous les navires.

On intercale sur la conduite d'eau, avant la chaudière, une caisse renfermant une série d'éponges; l'eau est envoyée par des pompes d'aspiration dans la partie supérieure de cette caisse, où elle se débarrasse de toutes les parties

boueuses qu'elle contenait, et ressort par la partie inférieure, où elle pénètre dans la chaudière.

Au bout d'un certain temps, on enlève les éponges qui, pressées, sont replacées dans la caisse et resservent de nouveau.

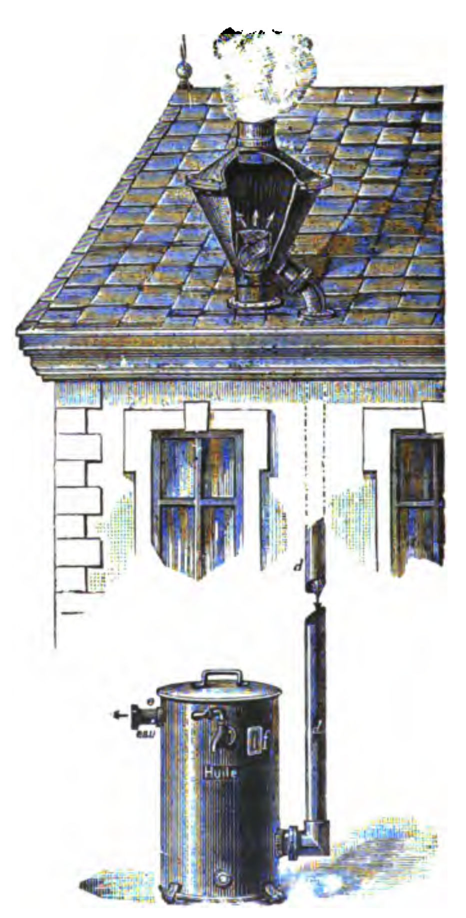


Fig. 59. — Séparation d'eau et de vapeur pour tuyaux d'échappement et appareils pour récupérer les matières grasses par le système G. Hoppenstedt.

Pour éviter ces dépôts graisseux, on pratique aussi les extractions de surface ; on se sert alors d'un robinet placé vers la partie supérieure du liquide dans le générateur, dont un tuyau, qui lui fait suite, pénètre dans l'intérieur.

En ouvrant le robinet, l'huile, ainsi que toutes les matières légères qui se trouvent vers le niveau de l'eau, sont chassées à l'extérieur.

On évite encore ces dépôts graisseux en pratiquant un graissage excessivement réduit.

Lorsque la vapeur est humide, on ne graisse même pas du tout, si ce n'est que dans les cas exceptionnels, où l'on met quelques gouttes d'huile.

c) **Séparation de l'huile de la vapeur d'eau.** — On peut arriver à séparer l'huile entraînée par la vapeur d'eau, comme le cas se présente, par exemple, pour les tuyaux d'échappement.

Dans l'appareil de G. Hoppenstedt, la vapeur d'eau pénètre dans une boîte en forme d'entonnoir et suit un dispositif en forme d'hélice; la vapeur projette, sur les parois, l'eau de condensation et la matière grasse.

La vapeur continue son chemin et sort par un tube ménagé à la partie supérieure de l'appareil. Quant à l'eau de condensation et la matière grasse, elle s'écoule par un conduit latéral, que l'on fait communiquer avec un appareil réservoir, où s'effectue la séparation de l'eau condensée et de l'huile.

On recueille dans ce réservoir l'huile, qui peut être utilisée de nouveau.

MM. L.-G. Dehne et Hall construisent aussi des appareils permettant de séparer les graisses et huiles de la vapeur.

CHAPITRE II

EMPLOI DE L'EAU DANS LES USINES DE TEINTURE D'IMPRESSION ET DE BLANCHIMENT

Bien souvent des accidents de fabrication, qui surviennent dans les usines de teinture, d'impression et de blanchiment ont pour origine la nature de l'eau employée.

La température même de l'eau a aussi une grande importance, et cependant on la néglige souvent dans les opérations.

Le teinturier doit avoir une eau de température régulière, afin de travailler toujours dans les mêmes conditions.

Si, par exemple, l'eau est froide, comme cela arrive en hiver, en procédant au rinçage, le savon se dissoudra difficilement; le travail sera défectueux, et les matières rincées auront un toucher mou ; dans ce cas, il est indispensable de faire tiédir l'eau avant de l'employer.

Par une température trop élevée, les couleurs peuvent très bien couler, et les blancs sont sujets à se salir, si le rinçage dure trop longtemps; par contre, le dégommage des épaississants se fait parfaitement; aussi doit-on prendre, autant que possible, une eau inférieure à 30°.

Certains phénomènes d'oxydation se produisent avec diverses matières colorantes, lorsque l'eau employée renferme de l'air qui agit par son oxygène.

Avec l'indigo blanc, par exemple, il y a, par oxydation, transformation en indigo bleu, qui ne se dissout pas, ce qui

est indiqué par la réaction :

$$C^{16}H^{12}Az^2O^2 + O = 2(C^8H^5AzO) + H^2O\,;$$

ou en formule de constitution :

$$C^6H^4\langle{}^{C-OH}_{Az}\rangle CH-CH\langle{}^{OH-C}_{Az}\rangle C^6H^4 + O = C^6H^4\langle{}^{C-O-O-}_{Az}\rangle CH-CH\langle{}^{C}_{Az}\rangle C^6H^4 + H^2O$$

Des eaux qui contiennent des matières organiques peuvent amener la putréfaction des extraits employés et empêcher leur conservation ; il est donc bon d'effectuer une filtration préalable avant d'entreprendre la fabrication d'un extrait pour la teinture et l'impression.

Une eau peut être bonne pour teindre avec une matière colorante et très mauvaise avec une autre ; cependant on doit, d'une façon générale, en teinturerie, partir d'une eau qui se rapproche le plus d'une eau pure.

Il semble que les matières colorantes sont d'autant plus solubles dans l'eau qu'elles sont plus riches en oxygène.

L'indigotine, qui a pour formule C^8H^5AzO, substance pauvre en oxygène, est complètement insoluble dans l'eau ; l'alizarine, $C^{10}H^6O^3$, matière colorante plus riche en oxygène, est un peu soluble ; quant à la brésiline, corps de formule $C^{22}H^{20}O^7$, plus oxygénée que les deux autres, est aussi plus soluble dans l'eau.

Cependant, à la suite de certaines actions, on ne peut pas poser d'une façon générale que la solubilité des matières colorantes croît en raison directe de son degré d'oxydation : ainsi lorsque, par suite d'une oxydation, la matière colorante se transforme en une matière semblable aux matières résinoïdes, la solubilité dans l'eau sera diminuée.

Dans la dissolution des matières colorantes, la nature de l'eau joue un rôle important, et les eaux calcaires influent considérablement sur cette dissolution.

Avec les couleurs d'aniline, comme : la fuschine, les bleus solubles, le violet de méthyle, le vert malachite et la safra-

nine, etc., la dissolution se fait mal dans les eaux calcaires; il se forme un précipité goudronneux et poisseux, très préjudiciable aux opérations de la teinture.

L'emploi de ces eaux peut cependant se faire : soit par une purification préalable, soit en ajoutant de l'acide acétique, en quantité convenable pour neutraliser l'action de la chaux et proportionnellement à la dureté de l'eau.

Les matières en solution dans l'eau agissent très notablement ; lorsqu'on ne dissout pas la safranine et la fuschine dans une eau pure, on s'expose à une altération rapide de la matière colorante, dont l'intensité diminue beaucoup.

Ces solutions devront donc se faire à l'eau pure ou les préparer juste au moment de s'en servir.

Pour les bleus solubles, on peut préparer les solutions à l'avance avec de l'eau bouillante.

D'une façon générale, les eaux calcaires sont défectueuses pour la préparation des dissolutions des matières colorantes. Ainsi :

1° Les dérivés du triphénylméthane, comme la fuschine ou chlorhydrate de rosaniline :

$$Cl - C \begin{cases} C^6H^3 < \begin{matrix} CH^3 \\ AzH^2 \end{matrix} \\ C^6H^4 - AzH^2 \\ C^6H^4 - AzH^2, \end{cases}$$

et la fuschine acide, sel de sodium de rosaniline disulfoconjuguée (cette fuschine est décolorée par les alcalis ; mais la couleur reparaît par les acides), la xanthine, le bleu de rosaniline et le bleu de diphénylamine, l'azuline, le violet Hofmann, le violet de Paris, le violet benzyle, le vert malachite, le bleu Victoria, le bleu de nuit et l'auranine, etc.

2° Les phtaléines :

Comme la céruléine, l'éosine, la fluorescéine, etc.

3° Les safranines :

Comme la phénosafranine, la safranine, l'améthyste.

4° Les matières colorantes d'origine végétale et animale :

Comme la cochenille, le kermès, la garance, etc.

5° Des matières colorantes :

Comme la noix de Galle, le cachou, les gallons du Piémont, les gallons du Levant, le gambir, le kino, le sumac.

Si les eaux calcaires sont, en général, nuisibles aux emplois de la teinture et de l'impression, avec la teinture de l'alizarine, au contraire, la présence des sels de chaux est indispensable, lorsqu'on teint sur mordant de fer ou d'alumine, ou avec le campêche ou la gaude.

Ces cas favorables sont exceptionnels : les eaux calcaires empêchent d'extraire la matière colorante, avec efficacité, dans la teinture au bois; elles diminuent l'éclat de la couleur, comme, pour le rouge turc, avec l'écarlate de cochenille, dont la coloration se produit en bain acide ; sa coloration devient tout à fait impossible ou au moins très atténuée.

Le brun de Bismark, couleur de la série azoïque, donne des nuances beaucoup plus foncées qu'avec les eaux ordinaires.

Dans le mordançage, les eaux calcaires ont aussi des inconvénients : elles diminuent la force des bains en précipitant les sels d'alumine et de fer; elles atténuent ou neutralisent l'acidité et transforment les bains de bichromates en chromates neutres.

Pour les bains de garance, la variation de teinte est très sensible, et de rouge franc ils passent au violet.

Dans le garançage, les sels calcaires provoquent des accidents nombreux.

Ainsi le carbonate de calcium dissous dans l'eau se précipite très facilement sur les étoffes; il vient salir les fonds blancs et se trouve être un centre d'attraction de la matière colorante.

On remarque, dans le garançage, que cet inconvénient a lieu déjà dans le débousage; la température devient suffisante, pendant l'opération, pour précipiter le carbonate de calcium sur l'étoffe en y adhérant fortement.

Pour blanchir les garances par le savon, avec des eaux

contenant des sels calciques, on doit, pour travailler économiquement, ne dissoudre le savon qu'après avoir fait une correction à l'aide du carbonate de sodium ou de la soude, suivant que l'eau est séléniteuse ou calcaire.

Ces substances de correction sont introduites dans l'eau, que l'on porte à l'ébullition, et les corps précipités sont ensuite enlevés.

L'eau est alors propre à recevoir l'addition de savon.

Suivant les espèces de garance avec lesquelles on opère, l'influence de l'eau calcaire est plus ou moins sensible ; il se forme et se fixe, sur les parties mordancées, une laque binaire avec la chaux ; cette laque, d'après M. Schlunberger, est bien plus solide que la laque d'alumine simple.

La garance d'Alsace, qui est acide, n'offre pas de pertes appréciables en employant des eaux calcaires, et, du reste : on ajoute du carbonate de calcium à la garance d'Alsace pour teindre avec solidité.

La composition de la garance intervient donc : dans la préparation du bain et les dispositions qu'on doit prendre dans la modification de l'eau employée.

C'est, au contraire, une réaction alcaline qui se produit avec la garance d'Avignon ; elle contient des sels calcaires et, par conséquent, une eau calcaire sera nuisible.

Avec la garance d'Avignon, on aura donc avantage à employer une eau dépourvue de sels calciques, ou bien : à faire une correction de l'eau, si elle en contient, avant de s'en servir.

D'après les recherches de M. Rosensthiel, il résulte que l'alizarine chimiquement pure, en solution dans l'eau distillée, ne sature pas, en teinture, les mordants de fer et d'alumine, et il est indispensable, pour obtenir cette saturation, d'y ajouter un peu de carbonate de calcium.

Au contraire, en employant de l'eau calcaire, l'acide carbonique est déplacé ; le carbonate de calcium est précipité par la chaleur, et le liquide se colore en violet, par suite de la formation d'une combinaison calcaire avec l'alizarine.

Si l'on porte le liquide à l'ébullition, la laque calcaire se dépose sous forme d'une poudre violette, et on ne peut plus teindre avec ce bain.

En envoyant un courant d'acide carbonique dans le bain, la laque se dissoudra, et le bain retrouvera son pouvoir colorant.

On conclue de là que, pour fixer le plus complètement possible l'alizarine pure à l'aide d'un mordant de fer ou d'alumine, il est nécessaire d'ajouter de la chaux.

Finalement, on obtient la fixation d'une couleur, qui n'est autre qu'un composé ternaire d'oxyde alcalino-terreux, avec de l'oxyde de fer ou de l'alumine.

On a remarqué que le rendement le plus élevé de la nuance est obtenu lorsqu'on a un équivalent de matière colorante pour un équivalent de carbonate de calcium.

Si l'alizarine, matière colorante dérivée de l'anthracène, ne permet pas de teindre en employant de l'eau distillée, par contre, la purpurine, qui dérive aussi de l'anthracène, permet de teindre avec facilité les mordants, lorsqu'on opère avec de l'eau pure.

Mais, pour obtenir un rendement avantageux en teinture, il faut, comme pour l'alizarine, ajouter un équivalent de carbonate de calcium pour un équivalent de purpurine.

L'alizarine et la purpurine sont deux pigments qui jouent un rôle important en teinture.

Dans la teinture à l'alizarine, comme dans celle à la garance, corps qui contient les trois pigments : alizarine, purpurine et pseudo-purpurine, il est avantageux d'opérer par conséquent avec des eaux ne contenant pas de sels calcaires et de leur ajouter le carbonate de calcium nécessaire pour teindre convenablement.

L'acétate de calcium a été présenté par M. Rosenstiehl, pour remplacer avantageusement le carbonate de calcium dans la teinture à la purpurine et à l'alizarine.

Dans la teinture à la garance, l'analyse de la garance, coordonnée à celle de l'eau, peut fournir de précieuses indi-

cations pour obtenir le rendement tinctorial maximum.

Avec les eaux calcaires, le dégraissage et le désuintage des laines se font irrégulièrement; il se forme un savon insoluble, avec la matière grasse de la laine et les métaux alcalino-terreux, qui se fixe après les fibres.

Il résulte, de cette fixation, une absorption irrégulière de la teinture et, par suite, des taches et des pertes de matières colorantes.

Si les eaux sont calcaires dans le lavage des étoffes de laine, après les opérations de la teinture, elles leur donnent un aspect pâle ou un brillant qui n'est pas naturel, en atténuant celui même de la couleur.

Plusieurs teinturiers nous ont soumis des eaux avec lesquelles il leur était impossible de teindre; la précipitation des sels alcalino-terreux, qui étaient en solution dans l'eau, amenait la formation de laques avec la matière colorante.

On remédie à cet inconvénient, en purifiant l'eau au préalable : ou en neutralisant l'action de ces sels par un acide.

Dans le blanchiment des tissus, la nature des eaux a une grande importance, et, pour obtenir des résultats efficaces dans le travail et constants, il est de toute nécessité d'avoir des eaux pures pour l'alimentation de l'usine.

Les eaux calcaires sont particulièrement nuisibles, car les composés formés par les différentes lessives et les matières gommeuses deviennent difficiles à dissoudre et s'attachent aux tissus.

De plus, les eaux calcaires entraînent des pertes de savon.

Pour blanchir les tissus de coton, par le procédé Lunge au chlorure de chaux, l'opération est entravée, lorsque l'eau employée contient une quantité de sels calcaires appréciable.

La réaction peut cependant s'effectuer convenablement, en tenant compte de ces sels et en augmentant la proportion d'acide acétique à ajouter; souvent, on commence par faire la neutralisation de l'action du carbonate de calcium de l'eau par un acide, comme : l'acide chlorhydrique ou l'acide

sulfurique, puis on ajoute un acide organique faible, comme: l'acide acétique.

La pratique du blanchiment, à l'eau oxygénée et au peroxyde de sodium, a montré qu'il fallait employer des eaux qui contiennent le moins possible de sels calcaires.

Il est indispensable de se rendre compte, si les eaux employées renferment des matières ferrugineuses en solution, car elles seraient tout à fait impropres aux usages de la teinture et de l'impression avec l'alizarine, ainsi qu'avec les couleurs dérivées de la houille que l'on fixe avec le tannin.

L'hydrate ferrique produit, avec différentes teintures, comme: le campêche, le curcuma et la cochenille, des laques dont le fer qui les compose est sous forme de protoxyde.

Avec la teinture de tournesol et d'indigo, cet inconvénient ne se produit pas.

On doit rejeter, de prime abord, toute eau ferrugineuse lorsqu'on blanchit les tissus, car le fer se précipite de ses combinaisons par les lessives de soude et de sels de chaux, en produisant des taches jaunâtres.

Il faut alors passer les tissus dans un bain d'acide chlorhydrique pour transformer le fer à l'état de chlorure soluble.

Ce mode de traitement postérieur n'est pas toujours efficace; aussi doit-on avoir recours souvent au passage des tissus dans un bain chaud d'acide oxalique, afin d'obtenir l'oxalate de fer, sel très soluble dans l'eau.

Dans cette opération, il faut agir avec précaution; aussitôt les taches jaunes disparues, on doit plonger les objets dans de l'eau pure, afin de ne pas prolonger inutilement l'action de l'acide oxalique, qui serait préjudiciable aux fibres.

Il est nécessaire d'empêcher la formation de l'hydrate ferrique, en employant de l'eau dépourvue de sels de fer, ou bien d'éliminer l'hydrate ferrique des tissus, comme nous l'avons indiqué, car non seulement l'hydrate ferrique tache les tissus, mais encore il les perce rapidement.

L'oxyde ferrique, par sa propriété comburante, brûle les

matières organiques et devient un élément nuisible, ce qui permet d'expliquer des accidents qui surviennent en teinture et en impression.

Ces accidents sont reproduits avec d'autant plus d'activité que l'effet destructeur provient de la cession de l'oxygène de l'oxyde ferrique, et que, par conséquent, l'oxyde de fer, par cette réduction, redevient propre à subir toute oxydation de la part des agents extérieurs et capable de recommencer son travail destructeur.

Avec les eaux ferrugineuses, les nuances sont indécises; on remarque cet inconvénient, qui se produit d'une façon très sensible, lorsqu'on teint sur mordant.

Souvent, dans les usines de teinture et de blanchiment, des troubles se produisent dans les manipulations, et les tissus sont tachés par l'emploi des eaux de condensation, provenant de l'échappement de la vapeur.

Ces eaux, lorsqu'on fait usage de certains désincrustants, se trouvent souillées par ces produits, qui sont entraînés par la vapeur, soit tels quels, soit décomposés.

Du reste, les industriels consciencieux qui vendent ces ingrédients modifient la composition de leur produit, lorsqu'on leur fait la remarque qu'il est destiné à des chaudières d'usines de teinture, d'impression ou de blanchiment.

Cette observation ne doit pas être négligée; sans cela on s'expose aux accidents les plus variés, auxquels il est difficile de remédier, puisque, la plupart du temps, on ne connaît pas la composition de ces marchandises, qui est tenue secrète, autant que possible, par les industriels qui les exploitent.

CHAPITRE III

DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE DES TEXTILES ET LE CONDITIONNEMENT

La laine brute, c'est-à-dire telle qu'elle est produite par le mouton, est enduite d'une matière graisseuse, « suint ou surge », sécrétée par l'animal.

Cette matière, qui adhère fortement à la laine, ne peut être éliminée que par des traitements spéciaux, qui sont les préliminaires de l'industrie lainière.

Le désuintage et le dégraissage de la laine nécessitent de grandes quantités d'eau, dont la composition influe sur la réussite des opérations et sur le changement même des propriétés de la laine.

La qualité des eaux est souvent la cause, par ces premiers traitements, d'insuccès dans ceux qui doivent suivre.

Ainsi : le lavage des laines, pratiqué avec des eaux dures, a pour conséquence de diminuer la perméabilité des fibres, d'empêcher la fixation régulière des mordants et des matières colorantes, si bien qu'on ne peut avoir d'uniformité dans les teintes.

L'eau chargée de terres glaiseuses provoque l'adhérence de ces matières après les fibres, ce qui les rend très difficiles à éliminer.

Le suint est composé : de corps solubles des sels de potassium, carbonate, chlorure, acétate, et enfin de corps gras.

En dehors de ces corps, qui constituent le suint, on trouve, dans certaines laines, des matières terreuses et graisseuses.

On rencontre des laines mérinos, qui cèdent, au dégraissage, jusqu'à 70 0/0 de leur poids.

On pourrait croire qu'un simple lavage à l'eau tiède permettrait d'éliminer complètement les matières étrangères de la laine, grâce à la composition du suint et à sa propriété savonneuse.

Il n'en est rien, et il reste toujours, par un lavage à l'eau seule, un peu de matière graisseuse.

Le désuintage peut se faire avec de l'eau ordinaire.



Fig. 60. — Lavage de la laine à dos.

Il est à noter que l'on ne doit jamais opérer avec de l'eau portée à une température voisine de l'ébullition; sous peine d'altérer les fibres, l'eau doit avoir au plus 60°.

On observe, dans la pratique, que le désuintage des laines s'effectue bien plus facilement avec de faibles quantités d'eau.

En désuintant en solution concentrée, c'est-à-dire avec peu d'eau, le suint agit comme un savon, et, par conséquent, élimine toutes les matières graisseuses ou autres, qui peuvent rester adhérentes aux fibres de la laine.

Plus les laines perdent au désuintage, plus elles sont estimées; les laines grossières perdent beaucoup moins que

les fines, environ 36 0/0 de leur poids total au lieu de 45 0/0.

Dans le dégraissage de la laine, qui permet d'éliminer les dernières traces de matières étrangères, la nature de l'eau est primordiale.

Ce dégraissage, se faisant actuellement le plus souvent avec des savons de potasse, si l'on emploie des eaux contenant des sels de chaux, il s'ensuit un surcroît de dépense de savon.

Le savon neutralise tout d'abord l'action des sels de chaux, avant d'agir par lui-même et de faire sentir par conséquent sa propriété savonnante.

Il se forme des savons calcaires insolubles, qui se fixent sur les fibres et adhèrent comme un enduit.

C'est un grand inconvénient, car, dans ces conditions, le dégraissage ne peut se faire complètement, et les opérations ultérieures s'en ressentent beaucoup.

Pour remédier à cet effet fâcheux, on peut corriger l'eau, en introduisant dans l'appareil à dégraisser : un alcali, de la soude ou de la potasse, avant d'y ajouter le savon.

La potasse convient mieux que la soude, car l'altération de la laine, qui peut être produite avec les alcalis, semble moins grande avec la potasse qu'avec la soude.

Ces eaux calcaires sont aussi nuisibles dans les traitements préalables du coton, de la soie et des fibres textiles, lin et chanvre.

Les travaux de M. Fremy nous ont appris que les fibres et cellules des textiles sont reliées, entre elles, par une sorte de ciment végétal, constitué par de la vasculose, de la cutose et de la pectose et ses dérivés : pectine, parapectine, métapectine, acide métapectique, acide parapectique et acide pectique.

Le rouissage des textiles, comme : le chanvre et le lin, est une opération qui a pour but de préparer la fibre, pour faciliter son isolement de la partie ligneuse.

Dans le rouissage, l'eau apporte son précieux concours,

comme dissolvant, et, dans certains cas, on lui adjoint des alcalis.

L'action de solubilité de l'eau, dans le rouissage, est occasionnée pour la pectose, constituant en grande partie le ciment végétal, par une modification de cette pectose, en un corps soluble dans l'eau : la pectine.

Cette transformation se produit, sous l'influence d'un ferment spécial, la pectase, qui se trouve dans les tissus de végétaux.

Dans le rouissage, on doit donc se placer dans les meilleures conditions de fermentation.

La pectine donne aussi d'autres modifications solubles dans l'eau : les acides métapectiques.

Pour le rouissage du chanvre et du lin, on distingue trois méthodes en général :

1° Le rouissage par l'eau courante ;

2° Le rouissage par l'eau stagnante ;

3° Le rouissage sur le pré.

Enfin on peut ajouter :

La méthode mixte de rouissage, qui est une combinaison des deux méthodes sur le pré et par l'eau.

Nous pourrions citer encore d'autres méthodes de traitement du chanvre et du lin, qui tendent à améliorer ou à supprimer le rouissage.

Nous avons à considérer, ici, les méthodes par l'eau courante et stagnante.

Pour le rouissage, d'une façon générale, on ne prend pas d'eau trop calcaire.

Cependant, dans le rouissage à l'eau courante, il est préférable, lorsqu'on a à traiter des fibres fines, d'avoir une eau un peu calcaire.

Il en résulte une fermentation pectique, beaucoup moins active, et par conséquent moins susceptible de produire une altération des fibres.

De même l'eau froide est à recommander dans ce cas.

Le traitement, dans l'eau courante, exige un écoulement

de l'eau : modéré, sous peine de détruire, d'abîmer et de perdre des fibres.

Les eaux de la Lys ont été reconnues comme préférables à beaucoup d'autres pour la pratique du rouissage.

Pourtant, si l'on examine la composition de l'eau de la Lys, on constate qu'elle se rapproche d'une eau de composition normale.

Ainsi l'eau de la Lys contient par litre :

	litres.
Air dissous	0,026
Gaz acide carbonique	0,005
	gram.
Sulfate de chaux	0,015
Carbonate de chaux	0,070
Azotate de magnésie et chlorure	0,005
Bicarbonate de potasse	traces
Chlorure de sodium	traces

Cette qualité, justement appréciée de l'eau de la Lys, pour le rouissage, résulterait, d'après M. Charpentier, de l'état

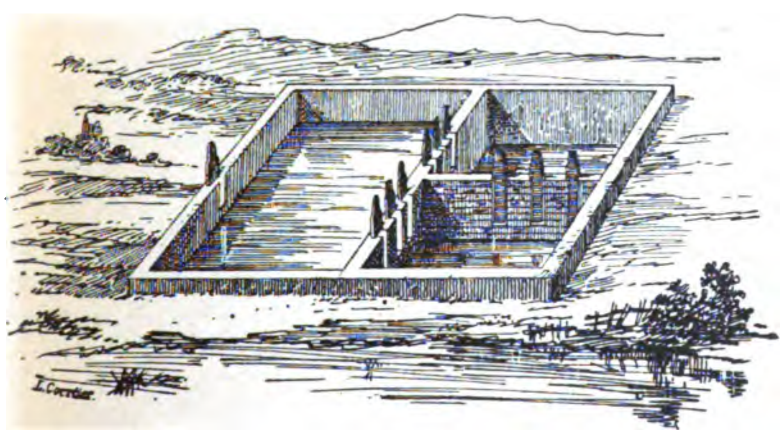


FIG. 61. — Rouissage du lin aux routoirs.

même de l'eau de la Lys, dans ses rapports avec les éléments fermentescibles.

Vu l'apport, continuel et abondant, des textiles dans l'eau de la Lys, cette eau se trouve être dans un milieu absolument favorable à la fermentation du rouissage, ce qui facilite l'opération.

Du reste, un fait qui corrobore cette manière de voir, c'est qu'un rouissage, effectué dans une eau neuve, donne des résultats moins satisfaisants que dans une eau ayant déjà servi.

Le rouissage à l'eau stagnante s'effectue dans des bassins appelés routoirs, en douze jours environ pour le lin, suivant la température et la qualité de l'eau.

La pratique du rouissage à l'eau stagnante demande une attention plus grande qu'avec l'eau courante, à cause de la forte proportion de matières gommeuses dissoutes, qui entrave la dissolution postérieure, et par suite la marche régulière de l'opération.

Il faut donc favoriser l'action fermentescible et faciliter l'apport du ferment pectase, sans nuire, par l'addition gommeuse, à l'eau en travail.

On renouvellera l'eau le plus souvent possible dans les routoirs.

A 100°, on peut considérer comme moyenne de la composition de l'extrait d'eau provenant du rouissage les résultats de l'analyse suivante :

Carbone	30,69
Hydrogène	4,24
Oxygène	20,80
Azote	2,24
Cendres	42,03
	100,00

L'analyse des cendres, suivant Kane, donnerait en moyenne :

Potasse	9,78
Soude	9,82
Chaux	12,33
Magnésie	7,79
Alumine	6,08
Silice	21,35
Acide phosphorique	10,84
Chlore	2,41
Acide carbonique	16,95
Acide sulfurique	2,65
	100,00

Les eaux ferrugineuses ne conviennent pas au rouissage; elles procurent une coloration brune aux fibres qu'il est difficile d'enlever.

Dans les routoirs, on jette des feuilles d'aulnes, afin de bleuir l'eau et neutraliser l'effet produit par l'action ferrugineuse.

La filasse, obtenue avec le lin, par le rouissage à l'eau, constitue environ les 5/6 du poids de la tige.

Après le rouissage, on pratique le séchage, puis le teillage.

Aussi bien, dans le traitement du rouissage par l'eau courante que par l'eau stagnante, les eaux résiduaires contiennent des matières organiques azotées, qui constituent le siège d'un véritable foyer d'infection.

Le rejet de ces eaux à la rivière constitue un danger pour la santé publique.

Les eaux résiduaires contiennent des éléments absolument profitables à la végétation, et l'agriculture peut en tirer un grand parti comme engrais; aussi, dans le travail au routoir, on pourra en faire l'application avec avantage.

La soie est composée : de fibroïne ou soie pure et d'une matière gommeuse ou grès dont il faut se débarrasser complètement en teinture.

Les eaux calcaires sont impropres au dévidage de la soie, car les sels de chaux, en se précipitant, adhèrent fortement après les fibres et nuisent tout à fait aux opérations diverses de cuisson et de teinture.

Avant le décreusage de la soie grège, c'est-à-dire la cuisson préalable que lui fait subir le teinturier, pour éliminer le grès soluble, si l'on a fait usage d'eaux calcaires, on est obligé de pratiquer un lavage spécial de ces soies, sous peine d'obtenir des accidents regrettables.

Il est un fait acquis d'expérience, c'est qu'une soie grège, qui donne plus de 10 0/0 de cendres, est dans les conditions les plus défavorables pour subir le décreusage et l'action de la teinture.

En effet, par le décreusage, qui a lieu par une cuite de la

soie avec un bain de savon, on obtient d'abord une teinte terne de la soie, puis il se forme, avec le savon soluble et les sels contenus dans l'eau qui se sont fixés sur cette soie, des composés calcaires insolubles.

Ces savons calcaires viennent se déposer en partie sur les fibres et même dans leur intérieur.

En conséquence, l'aspect soyeux est enlevé, et la fixation des matières colorantes se fait mal.

Quand le dévidage a été fait avec des eaux calcaires, il importe de laver les soies au moyen d'eau faiblement acidulée par de l'acide chlorhydrique.

En opérant ainsi, tous les sels qui ont pu se fixer sur les fibres se dissolvent; et, après, il ne s'agit plus que de neutraliser cette acidité par une solution faiblement alcaline.

Enfin on termine l'élimination de tous les sels solubles ou rendus solubles par des lavages à l'eau pure, jusqu'à ce que ces eaux de lavage soient complètement neutres; il est du reste aisé de le constater avec du papier de tournesol.

Traitées de cette façon, les soies seront préservées des inconvénients que nous avons examinés.

Cependant il est préférable de faire subir une épuration préalable de l'eau employée, tant dans l'industrie lainière que dans celle du coton et de la soie.

Dans ces industries, les eaux sont souvent traitées simplement par du carbonate de sodium dans des bassins spéciaux, où on les laisse reposer, pour en séparer le précipité formé.

Les sels en solution dans l'eau, tels que : les sels calcaires, procurent des accidents et, par suite, des erreurs graves, lorsqu'on procède aux déterminations effectuées dans les établissements officiels des conditions publiques.

En dehors du conditionnement des textiles, qui a pour but de déterminer leur état hygrométrique, afin d'évaluer la quantité d'eau ajoutée artificiellement à ces textiles, les établissements de conditions publiques procèdent souvent au décreusage et au titrage du textile.

Dans le décreusage des soies, dans les conditions publiques, ou évaluation de la charge des soies, la nature de l'eau a une grande influence sur les résultats de cette opération, qui s'effectue par deux cuites successives d'une demi-heure dans un bain de savon.

En opérant avec la même soie dans divers bureaux de conditions, les chiffres trouvés donnèrent, à l'essai, des résultats extrêmement variables, en ne se servant pas de la même eau dans tous les bureaux.

Ainsi, en faisant le décreusage avec de l'eau distillée, on a trouvé, dans les conditions, de Lyon une perte de 2 0/0, en plus de celle qu'on trouvait en servant de l'eau du Rhône, qui n'a guère qu'un titre de 17° hydrotimétriques.

Dans le décreusage des soies, il importe donc de se servir d'eau pure.

De même, pour évaluer la charge de la laine par l'opération dite du lavage, il est absolument nécessaire de n'employer que de l'eau pure; car souvent on constate que le poids est plus grand après qu'avant le lavage.

Le lavage des laines exige une grande pureté de l'eau, d'autant plus que la différence entre le poids absolu avant et après le lavage est souvent très faible, ce qui peut entraîner facilement de graves erreurs.

Dans les conditions publiques et dans tous les laboratoires où on se livre à des essais analogues, on ne doit donc employer, pour le décreusage et le lavage, que de l'eau distillée ou de l'eau corrigée, mais dont le titre de cette dernière ne doit pas excéder 2 à 3° hydrotimétriques.

Il est avantageux d'installer les appareils nécessaires, pour avoir de l'eau distillée en abondance, et d'en faire usage de préférence à toute autre, même corrigée.

CHAPITRE IV

DE L'EAU EN SAVONNERIE

Des eaux qui contiennent une trop grande quantité de sels de calcium ou de magnésium ont pour conséquence une dépense exagérée de lessives alcalines, dans la fabrication des savons; mais, par contre, l'eau est corrigée.

Les lessives alcalines à base de soude ou de potasse, en réagissant sur les sels de calcium, les précipitent sous forme de carbonate de calcium, corps insoluble, qui ne peut exercer une action sur les manipulations postérieures de la savonnerie.

Pour pas s'exposer à incorporer dans la masse saponifiée une certaine quantité de carbonate de calcium et à favoriser la formation de savons insolubles à base de métaux alcalino-terreux, il est préférable de précipiter les sels de calcium et de magnésium, préalablement, et de séparer, de l'eau ainsi traitée, le précipité formé.

En tant qu'économie, il vaut mieux avoir une eau tenant le moins possible de sels calcaires ou magnésiens en solution.

En présence des eaux contenant une forte proportion de chlorures et de sulfates solubles, l'opération de l'empâtage est entravée.

C'est du premier traitement ou empâtage que l'on fait subir aux matières grasses, pour les combiner aux alcalis, que dépend le rendement et la qualité du savon.

Cependant de pareilles eaux peuvent servir à la fabrication des solutions salées utilisées dans le rélargage, opération reposant sur l'insolubilité du savon dans les dissolu-

tions de sel marin et dans les solutions de soude ou de potasse fortement concentrées.

La préparation des lessives alcalines de soude ou de potasse ne doit pas être faite avec des eaux chargées de sel marin, de sulfate de sodium, de potassium et de magnésium, car elles introduiraient, dans la lessive, des sels gênants pour l'empâtage.

Les eaux de cette catégorie sont assez difficiles à épurer, en vue de leur utilisation, avantageuse dans l'empâtage, car on court le risque, par une épuration chimique, d'introduire dans l'eau d'autres sels, qui seront tout aussi gênants que ceux qu'on se proposait d'éliminer.

Il vaut mieux employer d'autres eaux, ou, alors, se servir de la condensation de la vapeur produite.

Si les eaux, qui doivent être employées dans la fabrication des savons, sont souillées de corps en suspension, tels que des débris organiques et des matières terreuses, il suffit de faire une simple filtration sur plusieurs couches successives de graviers et de sables, dont la grosseur va en diminuant, pour obtenir une eau claire, parfaitement propre aux usages de la savonnerie.

Dans le chapitre de cet ouvrage, qui traite de la filtration, nous donnons la description de quelques types d'appareils à grand débit, qui seront utilisés avantageusement en savonnerie.

CHAPITRE V

DE L'EAU DANS LES BLANCHISSERIES ET LAVOIRS

Les blanchisseries et lavoirs, qui, depuis quelques années, ont pris un développement considérable, sont des premières intéressées à connaître les eaux qu'elles peuvent utiliser.

Dans l'essangeage du linge, opération qui a pour but d'enlever par dissolution les taches formées par : le sucre, les gommes, les sirops, le sang, la fécule, etc., il ne faut pas employer d'eaux séléniteuses ou dures.

Il en est de même pour le lessivage et le lavage du linge, qui réclament l'usage d'eau douce.

Si cependant on voulait se servir d'eaux dures ou séléniteuses, il faudrait les corriger préalablement.

En opérant de cette façon, on évitera une dépense exagérée de savons, qui résulterait de la formation, avec les eaux calcaires ou magnésiennes, de savons insolubles, qui seront par conséquent sans action pour le blanchissage du linge.

Cette considération n'est pas à dédaigner, si l'on songe aux pertes énormes de savon qu'elle peut entraîner, pertes souvent de beaucoup supérieures à la quantité de savon concourant utilement à l'action du nettoyage; aussi la maxime par laquelle le degré de civilisation d'un peuple des nations se juge d'après la consommation de savon devient difficile à appliquer.

Il est facile de s'en rendre compte, en considérant les degrés hydrotimétriques des eaux, qui indiquent les quantités de savon nécessaires pour neutraliser l'action de l'eau.

Chaque degré hydrotimétrique correspond à une perte de savon de 0gr,1 par litre.

Ainsi l'eau du puits de Grenelle nécessite 11 décigrammes de savon par litre d'eau avant de commencer à mousser, moment à partir duquel le blanchissage du linge devient efficace.

C'est donc une perte de savon qui se produit.

Par mètre cube :

Eau distillée	0	grammes de savon.
Eau de neige	250	—
Eau de pluie	350	—
Eau de l'Allier à Moulin	350	—
Eau de la Dordogne à Libourne	450	—
Eau de la Garonne	500	—
Eau de la Loire à Tours	550	—
Eau de la Loire à Nantes	550	—
Eau du puits de Grenelle	900	—
Eau du puits artésien de Passy	1k,100	—
Eau de la Soude	1,350	—
Eau de la Somme, Soude	1,350	—
Eau de la Somme départ de la Marne	1,400	—
Eau du Rhône	1,500	—
Eau de la Saône	1,500	—
Eau de l'Yonne	1,500	—
Eau de la Seine au pont d'Ivry	1,500	—
Eau de la Vanne	1,800 à 2k	—
Eau de la Seine à Chaillot	2,300	—
Eau de la Marne à Charenton	2,300	—
Eau de l'Oise à Pontoise	2,100	—
Eau de la Dhuis à la source	2,400	—
Eau de l'Escaut à Valenciennes	2,450	—
Eau du canal de l'Ourcq	3 »	—
Eau d'Arcueil	2,800	—
Eau des Prés-Saint-Gervais	7,200	—
Eau de Belleville	12,800	—

Ces dernières eaux sont tellement mauvaises qu'elles sont délaissées et ne sont guère utilisables que pour les services de la voirie.

Les eaux qui titrent 15° à 18° hydrotimétriques conviennent très bien au savonnage; au-dessus de 22°, elles lui sont impropres.

Les eaux calcaires pourront être corrigées, par une addition de carbonate de sodium à la quantité considérée comme normale pour effectuer un bon blanchissage.

Aussi les quantités de sels de soude à introduire pour le lessivage du linge varieront-elles d'une eau à l'autre.

Dans la pratique, on fait la lessive avec 18 à 20 kilogrammes de sel de soude à 75° pour l'eau de Seine et par 1.000 kilogrammes de linge à blanchir.

Avec l'eau de la Vanne, on use à peu près 28 kilogrammes de carbonate de soude à 75°.

D'une façon générale, la correction d'une eau calcaire peut se faire par une addition de sel de soude.

L'augmentation du titre hydrotimétrique des eaux se traduit par un surcroît de dépense des produits employés, tels que : carbonate de sodium, savon et eau de Javelle.

Certaines eaux douces, comme celles des puits de Grenelle et Passy, font réaliser des économies notables sur la quantité de sel de soude à introduire dans la lessive.

L'eau de pluie serait le véritable facteur économique.

Il est bon cependant de remarquer que les eaux dures peuvent être très bien employées dans le rinçage et l'azurage du linge.

Malgré le passage au bleu ou azurage, le linge sera très souvent sali par des matières colorantes minérales ou organiques, en dissolution dans l'eau, dont il faudra naturellement se préserver.

CHAPITRE VI

DE L'EAU DANS LE TRAVAIL DES PEAUX

Le travail des peaux nécessite l'emploi d'une grande quantité d'eau, qui a pour but d'attendrir la peau pour faciliter le dépilage et l'absorption ultérieure des principes tannants.

Les sels en solution influent alors sur le résultat des opérations.

Avant de transformer la peau des animaux en cuir, c'est-à-dire en produit imputrescible, souple, insoluble dans l'eau, et résistant par le tannage, on procède au dépilage.

Le dépilage des cuirs mous consiste à dégager les racines des poils des bulbes par une saponification des matières graisseuses, sécrétées par des petites glandes.

La nature de l'eau influera sur cette opération que l'on pratique avec le concours de corps, comme la chaux.

Si les eaux employées sont calcaires, c'est-à-dire contiennent du carbonate de calcium en forte proportion, grâce à l'excès d'acide carbonique, ces eaux provoqueront un dépôt, dans le tissu dermique, de carbonate de calcium qui se précipite.

Ce dépôt de carbonate de calcium a le défaut de ralentir l'absorption du tannin dans les cellules de la peau.

Ce carbonate de chaux sera la conséquence de colorations brunes du cuir.

Par le trempage, le carbonate de chaux est transformé en tannate de chaux, qui s'oxyde rapidement à l'air et forme

des produits secondaires de l'acide tannoxylique et tannomélanique d'après Büchner, donnant une coloration brun rouge au cuir qui le fait déprécier.

Cet inconvénient se présente aussi avec les eaux chargées de carbonate de magnésie, car le tannate de magnésie donne de même ces produits secondaires.

Après l'écharnage, le tanneur doit purger la peau de la chaux, qui peut subir encore des transformations en carbonate; aussi on a cherché à remplacer l'oxyde de calcium par d'autres produits qui activeraient le travail.

Pour éliminer les carbonates de chaux et de magnésie, en solution dans l'eau, utilisée dans le travail des peaux, on peut faire la précipitation préalable par de la chaux, dans un bassin spécial.

Au lieu de faire subir une épuration préliminaire de l'eau calcaire ou magnésienne, M. Villon a proposé de corriger l'eau, directement, par des acides.

Les sels, comme le carbonate de calcium et le carbonate magnésium, sont, en présence de cet excès d'acide, transformés en chlorure de calcium et chlorure de magnésium solubles.

On obtient ainsi de très bons résultats, et les cuirs ne sont altérés en aucune façon.

On emploie, pour cela, 20 grammes d'acide chlorhydrique à 20° B. par mètre cube d'eau et par degré hydrotimétrique.

Cette correction se fait de même en employant l'acide azotique dans les proportions de 20 grammes d'acide azotique à 36°; B. quant à l'acide acétique, qui convient aussi parfaitement; il peut être employé dans les proportions de 25 grammes d'acide à 9° B. par mètre cube d'eau et degré hydrotimétrique.

Mais nous considérons l'acide chlorhydrique comme le plus avantageux, à tous les points de vue.

Les eaux chargées de sulfates, tels que le sulfate de calcium et le sulfate de magnésium, sont loin d'être nuisibles au gonflement des peaux.

Bien au contraire, ces eaux sont recherchées par des

tanneurs, qui, à défaut même, ajoutent à l'eau du sulfate de calcium et du sulfate de magnésium, en ayant soin de mettre un excès de ce dernier.

Quant aux eaux calcaires, ou chargées de carbonate de magnésium, elles abandonnent facilement aux peaux leur carbonate de calcium et de magnésium.

Ces deux derniers corps sont nuisibles au gonflement des peaux ; c'est pourquoi on cherche, pour le travail en rivière des cuirs forts, des eaux chargées d'acide carbonique, par une bonne aération, que l'on peut obtenir en faisant tomber les eaux en cascade.

Dans le tannage même des peaux, les eaux calcaires ou chargées de magnésie auront des inconvénients d'autant plus grands que l'ébourrage aura été pratiqué à la chaux.

Cette dernière matière restant emprisonnée dans le tissu dermique, malgré les différentes façons que l'on fait subir à la peau, facilitera, comme nous l'avons vu, la précipitation du carbonate de chaux et de magnésie, qui viennent, en conséquence, augmenter les composés de la chaux qui y sont déjà.

Les eaux, qui tiennent des graisses ou des sels de fer, ne peuvent pas être utilisées dans les tanneries.

Au contact de l'air, les sulfates ferreux en solution se transforment vite en sels ferriques, qui donnent avec les tannins une coloration noire de tannate de fer.

Par des eaux ferrugineuses, on s'expose à obtenir cette coloration.

On peut corriger les eaux, dans le tannage des peaux, par précipitation préalable à l'aide d'un corps, comme l'alun, le chlorure de baryum, le silicate de soude, l'acide oxalique.

En tannerie, les proportions moyennes de ces corps, introduits par mètre cube d'eau et par degré hydrotimétrique, sont de 20 grammes pour l'alun, 16 grammes pour le chlorure de baryum et 10 grammes pour le silicate de sodium.

Cette correction se fait dans un réservoir spécial, où on laisse reposer l'eau avant de s'en servir.

Quant aux proportions de sels à introduire dans l'eau, il vaut mieux les déduire par le calcul, selon le titre hydrotimétrique de l'eau, et à cet effet nous nous reporterons au chapitre spécial traitant de l'épuration préalable.

Si l'on était réduit à employer des eaux chargées de sels de fer, on commencerait par les aérer le plus possible pendant quelque temps, afin d'activer la transformation des sels de fer en solution en sels au maximum.

Dans un bassin spécial, on ajoutera une faible quantité de soude ou potasse.

L'oxyde de fer se précipitera, par repos et décantation; l'eau sera alors débarrassée du fer qui se trouvait primitivement en solution et pourra être employée sans inconvénient.

Dans le chapitre relatif à l'emploi de l'eau en brasserie nous donnerons des moyens d'éliminer le fer contenu dans les eaux ; ces procédés peuvent aussi trouver leur place ici.

CHAPITRE VII

DE L'EAU DANS LA PRÉPARATION DES EXTRAITS TANNANTS ET COLORANTS

La fabrication des extraits a pris une grande extension, ces dernières années, par suite de leur emploi avantageux, en tannerie, en teinturerie, et dans la composition des couleurs pour impressions sur les étoffes de coton, de laine ou de soie.

Ces extraits permettent d'opérer avec des produits peu volumineux et renferment les principes actifs des matières traitées.

Dans la préparation des extraits, on doit, pour effectuer convenablement la dissolution des principes tannants et tinctoriaux, amener le bois à un état de grande division, afin de permettre à l'eau de pénétrer plus facilement dans les fibres ligneuses.

La qualité des extraits dépend souvent des corps contenus dans l'eau employée, et l'on peut dire que la réputation de certains fabricants français est due à la prise en considération de l'influence des sels de l'eau sur les principes actifs des extraits.

Les teinturiers-imprimeurs pratiquent l'extraction à froid des matières astringentes, telle que, le dividi, la galle, le sumac, employés dans leur art.

Comme les épaississants en usage chez les imprimeurs, il est difficile de conserver ces extraits, qui sont fermentescibles; la conservation est d'autant plus difficile que l'eau

est souillée de certains germes, quant aux eaux marécageuses ou infectées de matières en décomposition, elles agissent de la même manière.

Dans l'impression des tissus, la pratique de la fabrication des extraits varie d'une usine à l'autre.

On opère soit avec l'eau sous pression, soit en la chauffant entre 60° et 70°, et même avec de l'eau presque froide, comme dans le procédé de diffusion.

Les eaux calcaires sont tout à fait impropres à l'extraction de la plupart des matières colorantes.

Par l'extraction à froid des principes tannants servant pour les cuirs; non seulement on est amené à dépenser des quantités excessives d'eau, mais encore à se servir d'appareils énormes, et l'extrait qui en résulte est souvent trop pauvre pour être utilisé dans les diverses opérations.

Par contre, les jus tanniques, obtenus par la vapeur d'eau ou l'eau bouillante, contiennent, en dehors des principes actifs, des matières résinoïdes et des produits de décomposition qui ont une influence nuisible sur le tannage.

La concentration des jus tanniques, par évaporation de grandes masses d'eau, amène la précipitation des sels, primitivement en solution dans l'eau qui viennent gêner l'action tannante.

Outre la précipitation des sels calcaires et magnésiens qui se produit, il se forme des combinaisons des acides tanniques avec le métal alcalino-terreux, et l'action fâcheuse de ces combinaisons est d'autant plus intense dans la pratique du tannage que le titre hydrotimétrique de l'eau est plus élevé.

De plus, la fabrication des extraits est plus lente; les dépôts des sels de l'eau gênent la pénétration de l'eau dans les fibres, et la richesse des jus tanniques devient moins grande.

Les eaux ferrugineuses donnent avec les tannins : acide gallique, acide pyrogallique, quercitannique, morintannique, cachoutannique, acide gallotannique, etc., des précipités

ferriques de couleurs bleu foncé, vert olive et vert, qui causent non seulement une perte de matière tannante dans leur extraction, mais encore des troubles dans le tannage.

L'emploi des eaux calcaires et magnésiennes, par leurs combinaisons tanniques, expose à des pertes de tannin; aussi, pour la préparation des extraits, a-t-on avantage à partir de l'eau la plus pure, ou de faire une purification, avant de l'utiliser.

CHAPITRE VIII

DE L'EAU EN PAPETERIE

Dans l'installation d'une papeterie, on doit se préoccuper, avant tout, de la qualité de l'eau, qui joue un rôle important dans la fabrication du papier.

Si l'on veut se servir de l'eau, telle qu'elle est, sans lui faire subir de correction, certains papiers ne pourront pas être fabriqués.

Les papiers à cigarette, à filtre, suédois, et quelques papiers fins, ne peuvent pas être obtenus avec des eaux contenant trop d'impuretés, soit par leurs corps en suspension, soit par leurs corps en dissolution.

Les impuretés mécaniques qui viennent charger la pâte à papier de matières gênantes sont, fort heureusement, faciles à enlever.

Ainsi en faisant passer les eaux sur du noir animal, la filtration se fait parfaitement, et quelques corps en solution sont même retenus; mais ce procédé est abandonné à peu près partout pour son coût élevé, car le noir animal perd vite sa propriété filtrante, qui oblige à recourir à sa revivification.

Un des moyens le plus simple est de faire séjourner les eaux dans de vastes bassins de dépôts; mais cette manière de procéder occasionne une perte de temps et de terrain par l'emplacement de ces bassins.

Pour retenir les matières en suspension dans les eaux destinées aux papeteries, on se sert avec avantage de filtres de graviers et de sable, qui permettent de débiter rapidement de grandes quantités d'eau filtrée.

Dans le chapitre spécial relatif aux filtres industriels, nous décrivons plusieurs filtres à grand débit, tenant fort peu de place et convenant parfaitement en papeterie.

L'épuration peut se faire aussi, en procédant d'abord à une décantation dans un premier bassin, puis à une filtration par passages successifs à travers des couches de graviers, dont la grosseur va en diminuant; enfin par une circulation à travers du sable.

L'eau qui sort de filtres semblables et peu coûteux est limpide et dépourvue des substances primitivement contenues, qui sont ainsi retenues mécaniquement.

Dans quelques papeteries, on clarifie les eaux, en leur ajoutant un peu d'alun; cette pratique a été usitée, dans les premiers temps, en Chine et dans les Indes.

Une eau chargée de sels de fer est impropre à la fabrication du papier; sous l'influence d'un alcali, le fer se précipite en produisant une coloration brune de la pâte à papier.

Ces eaux ferrugineuses empêchent par conséquent d'obtenir des papiers de nuances claires et de luxe.

Ces sels de fer ont encore un effet des plus fâcheux dans la pratique même de l'encollage, opération ayant pour but de rendre le papier imperméable.

Les sels en solution dans l'eau, tels que les carbonate et sulfate de chaux et les chlorures, qui n'ont guère d'influence appréciable dans la fabrication de la pâte à papier, produisent des inconvénients sérieux, lorsqu'on procède à l'encollage.

Le collage, qui autrefois était uniquement fait à l'aide de la gélatine, dont on précipitait la chondrine avec de l'alun, pour faciliter la conservation de la colle, est remplacé surtout par le collage végétal, pour lequel les eaux calcaires sont particulièrement nuisibles.

Par l'encollage végétal, on précipite la résine d'une solution de résinate, qui vient se fixer sur les fibres.

Cette précipitation se fait avec différents sulfates, mais le plus souvent avec l'alun.

Dans ces conditions, il se forme un résinate d'alumine qui se précipite sur les fibres.

Les eaux calcaires viennent empêcher cette précipitation, car l'acide carbonique, tenant le carbonate de chaux en solution dans l'eau, se porte sur la soude du savon de résinate de sodium primitivement formé, en donnant du carbonate de sodium et précipitant de la résine, qui ne se fixe pas sur les fibres, mais qui se combine à la chaux pour donner un savon granuleux, gênant pour l'encollage.

Il en serait de même pour une eau acide par la présence de l'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique, ou même contenant du chlore libre.

De pareilles eaux décomposent le résinate de sodium, dont la soude se combine avec l'acide pour former du chlorure ou du sulfate de sodium.

Le savon résineux ainsi décomposé se fixe mal sur les fibres.

Les eaux alcalines sont aussi nuisibles à l'encollage, car on peut admettre la formation de sels doubles avec l'alun et l'alcali de l'eau, qui deviennent un obstacle pour obtenir finalement le résinate d'aluminium.

Il est avantageux de mettre un excès d'alun sur la quantité de résine employée à la fabrication première du résinate de sodium, pour former des sels doubles ou combinaisons avec les sels nuisibles de chaux, de fer, ou de magnésie contenus dans l'eau.

C'est pourquoi, dans beaucoup de fabriques anglaises, on emploie un peu plus de 1 kilogramme d'alun par 1 kilogramme de résine employée.

Quand les eaux sont très calcaires ou contiennent des sels de magnésie en solution, on devra corriger ces eaux, qui entraîneraient une grosse dépense, avant de les utiliser en papeterie.

Nous examinerons certains procédés dans le chapitre spécial relatif à l'épuration; mais un des moyens le plus simple consiste à faire passer l'eau, à la sortie du filtre de

graviers et de sable, dans un bassin contenant du lait de chaux en excès.

Les sels calciques et magnésiens sont ainsi précipités, et l'eau après repos et décantation est utilisable, et de plus on a l'avantage de précipiter l'oxyde ferrique des sels de fer en solution.

CHAPITRE IX

DE L'EAU EN PHOTOGRAPHIE

Souvent des insuccès photographiques sont dus à la composition des eaux employées dans les manipulations.

La photographie repose sur des transformations moléculaires de certains corps, comme les sels d'argent par la lumière et la réduction de ces sels, par des substances constituant les développateurs, capables de réagir chimiquement.

Il est facile de comprendre que les matières en solution dans l'eau seront susceptibles de donner lieu aussi à des réactions, mais dont l'effet pourra être néfaste pour le tirage des phototypes et des photocopies.

a) **Préparation de l'émulsion.** — Dans la fabrication des glaces au gélatino-bromure, il est évident que la préparation de l'émulsion ne doit être faite qu'avec de l'eau remplissant certaines conditions de pureté, à noter tout d'abord qu'elles doivent être dépourvues de matières solides en suspension dans l'eau, qui, par leur dépôt sur la couche sensible de gélatine, s'incrusteraient et produiraient des taches sur les épreuves.

A la suite de temps pluvieux, les eaux sont souvent jaunâtres; elles tiennent des matières limoneuses en solution; elles sont nuisibles dans la préparation des émulsions et dans les opérations photographiques.

On peut remédier à cet inconvénient, en ajoutant un peu d'alun, $0^{gr},5$ environ par litre; on laisse reposer un peu

et, après décantation, l'eau est limpide et peut être employée sans crainte.

Une trop grande acidité de l'émulsion retarde la transformation du bromure d'argent pulvérulent en bromure granulaire et diminue la sensibilité; aussi certains praticiens recherchent les eaux chargées de sels calcaires, sous prétexte que ces sels neutralisent l'acide azotique libre de cette émulsion.

Il est plus rationnel de corriger cette acidité par de l'ammoniaque sans aller demander à l'eau des conditions particulières ; l'acide se combine alors à l'alcali pour donner naissance à de l'azotite d'ammonium, corps très soluble, que l'eau élimine facilement.

De plus, les eaux calcaires diminuent, par leurs combinaisons insolubles, la sensibilité de l'émulsion.

Si la pureté de l'eau, dans les premières phases de la préparation de l'émulsion, peut ne pas être absolue, il n'en est pas de même des lavages, que l'on doit effectuer à l'eau distillée ; de cette façon, on évitera tout dépôt ou action pouvant provenir des corps contenus dans l'eau.

Nous devons faire remarquer que des eaux chargées de chlorures, de sulfures, etc., présenteraient cependant des inconvénients dans la préparation de l'émulsion.

Le bromure d'argent est en effet obtenu par le mélange de deux solutions : l'une de bromure de potassium, l'autre d'azotate d'argent; en même temps qu'il se précipiterait du bromure d'argent, il se précipiterait du chlorure d'argent, si l'eau contenait des chlorures en solution :

$$AzO^3Ag + NaCl = AgCl + AzO^3Na.$$

On a donc un mélange de substances : bromure et chlorure d'argent, et il résulte une diminution dans la sensibilité de l'émulsion.

Cet inconvénient empêche de pouvoir se servir d'eau de mer, par exemple, où la proportion de chlorure d'argent

obtenu est énorme, étant données les fortes proportions de chlorure de sodium qui y sont contenues, 30 à 35 grammes par litre.

Avec les sulfures, on obtient un précipité de sulfure d'argent, et toute l'émulsion est perdue :

$$2AzO^3Ag + Na^2S = Ag^2S + 2AzO^3Na.$$

Ces eaux, contenant des sulfures ou de l'hydrogène sulfuré, sont malheureusement assez fréquentes; les eaux de forage en particulier, et de rivière, qui renferment des matières organiques, y sont sujettes, par suite de la présence des sulfates.

De l'eau même qui n'en contient pas peut se charger de sulfures par son passage dans des conduits d'adduction en caoutchouc.

Il suffit, pour empêcher l'entraînement de sulfures provenant du caoutchouc, de le désulfurer, en le faisant tremper quelques minutes dans une solution de potasse bouillante à 5 0/0.

Ceci fait, le tuyau de caoutchouc doit être lavé jusqu'à ce qu'il ne présente plus de trace d'alcalinité, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'eau de lavage ne bleuisse plus le papier rouge de tournesol.

b) **Développement des phototypes.** — Dans le développement des phototypes, la qualité de l'eau joue un rôle particulier, et, dans bien des cas, on est obligé de renoncer à faire de la photographie pour des causes que nous allons examiner, à moins d'y apporter des remèdes appropriés.

Toute eau devant servir aux usages photographiques doit être rigoureusement filtrée; de cette façon on évite les dépôts des matières en suspension sur la couche de gélatine et les taches qui en sont la conséquence.

L'eau distillée, qui devrait être uniquement employée, ne peut pas l'être toujours, à cause des difficultés que l'on a à

se la procurer dans les endroits les plus improvisés où l'on est exposé à opérer.

Dans la préparation des bains développateurs, l'eau ordinaire peut, suivant les corps qu'elle renferme, occasionner de nombreux inconvénients.

Les développateurs ayant pour but de précipiter du bromure d'argent, son argent métallique, par un effet de réduction, si cette eau contient des matières oxydantes ou de l'air en solution, les corps réducteurs subiront une oxydation et, par suite, une diminution dans leur force réductrice.

Avec les bains : au fer, à l'acide pyrogallique, à l'hydroquinone, au paramidophénol, etc. ; il y a une altération rapide de ces bains ; le sulfate ferreux, par exemple, passe rapidement à l'état de sulfate ferrique, corps sans action sur le nitrate d'argent :

$$3So^4Fe + O = (So^4)^3 Fe^2.$$

Si l'eau dont on se sert est trop aérée, il suffit de la faire bouillir quelques instants pour en chasser l'air et remédier ainsi à cet inconvénient.

On s'aperçoit du reste facilement de l'action de l'air, ou plutôt de son oxygène, en constatant que les sels de fer et le pyrogallol tournent rapidement au brun, lorsqu'on n'a pas eu soin de boucher hermétiquement les flacons qui les contiennent.

Si les eaux sont calcaires, le révélateur au fer, lorsqu'on procède à la dissolution de l'oxalate de potassium, donne un précipité d'oxalate de calcium, précipité nuisible, si l'on effectue le développement des phototypes avec un révélateur ainsi préparé.

L'oxalate de calcium, insoluble, s'incruste dans la couche de gélatine, ramollie par les différentes manipulations :

$$C^2O^4K^2 + Co^3Ca = C^2O^4 + Co^3K^2.$$

Il faut décanter l'oxalate de calcium, ainsi formé, après

avoir laissé déposer la solution pendant quelques heures; l'emploi de l'eau calcaire amène une perte d'oxalate neutre de potassium, et le bain est alors utilisable.

On peut au préalable se débarrasser du carbonate de calcium, qui, comme on le sait, est dissous dans l'eau, grâce à l'excès d'acide carbonique; pour cela, il suffit de porter l'eau à l'ébullition pendant quelques minutes pour en précipiter le carbonate de calcium.

Après repos, on décante, et l'eau ne donne plus de précipité avec l'oxalate.

La préparation du sulfate ferreux en solution ne paraît pas demander, au premier abord, l'emploi d'eau dépourvue de sels calcaires; cependant, lorsqu'on mélange les deux solutions de sulfate ferreux et d'oxalate neutre de potassium, il se produit encore de l'oxalate de calcium, corps insoluble, présentant les inconvénients signalés.

Cet oxalate de calcium, formé dans ces conditions, n'en sera que plus gênant, parce qu'il sera dissimulé par la coloration produite par les réactions de l'oxalate de potassium sur les sels de fer.

Donc, tant au point de vue de la solution du sulfate ferreux que de celle d'oxalate de potassium, il ne faudra faire usage que d'eau dépourvue de sels calciques.

Les révélateurs organiques, qui sont à base de carbonates alcalins, donnent, avec des eaux chargées de sels de magnésie, telles que du chlorure de magnésium, un précipité blanc de carbonate de magnésium nuisible par sa précipitation sur la couche sensible:

$$MgCl^2 + Co^3Na^2 = Co^3Mg + 2NaCl.$$

Le carbonate de magnésium, qui est souvent en dissolution dans l'eau, grâce du reste à un excès d'acide carbonique, donne lieu à des inconvénients absolument analogues aux sels calciques, auxquels on pourra remédier par les mêmes procédés.

Les révélateurs organiques composés avec des carbonates

alcalins donnent, avec le sulfate de calcium en solution dans l'eau, un précipité de carbonate de calcium qu'on laisse déposer et sépare par filtration.

Ainsi traitée, l'eau n'amènera plus d'inconvénients ultérieurs, il faudra simplement tenir compte du carbonate de chaux précipité et ajouter la quantité de carbonate de soude, qui aura servi à cette précipitation, pour compléter la proportion de carbonate de soude déterminée dans le bain.

Cette précipitation du sel de chaux aurait pu se faire, avant la préparation du bain développateur, au moyen de l'oxalate neutre de potassium.

c) **Lavage des phototypes.** — Une fois le phototype développé, il est important d'effectuer les premiers lavages avec de l'eau distillée ou pure.

Au sortir du bain, la couche sensible de gélatine est imprégnée des sels du révélateur, qui amènent, par des lavages effectués avec des eaux calcaires, la précipitation d'oxalate de calcium, si le développateur était un sel de fer et la formation du carbonate de calcium, si le réducteur employé est un corps organique, puisque, dans ce cas, le révélateur contient un carbonate alcalin.

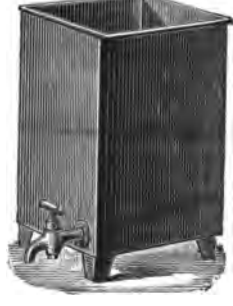


Fig. 62. — Boîte en zinc pour le lavage des clichés.

L'oxalate ou carbonate de calcium formé viendra se placer sur la couche de gélatine et produira des taches et voiles sur le phototype, et, par suite, sur les épreuves positives.

On peut remédier à ces inconvénients si l'on n'a pas à sa disposition de l'eau pure ; pour cela, on précipite tout d'abord les sels calciques par de l'oxalate de potassium, en quantité juste nécessaire, ou bien on lave à l'eau, sans lui faire subir de correction préalable, mais en redissolvant le

précipité d'oxalate ou de carbonate de calcium déposé sur la glace au gélatino-bromure.

On peut enlever ces dépôts, en plongeant la glace, ainsi développée pendant quelques secondes dans un bain acidulé par de l'acide chlorhydrique, de l'acide citrique ou de l'acide tartrique :

$$Co^3Ca + 2HCl = CaCl^2 + Co^2 + H^2O,$$
$$C^2O^4Ca + 2HCl = CaCl^2 + Co^2 + Co + H^2O.$$

Une solution d'acide chlorhydrique à 5 millièmes, ou d'acide citrique, convient parfaitement pour dissoudre les sels calciques déposés.

Avec les sels de magnésie on obtient, par le développement des phototypes, des inconvénients analogues à ceux produits par les sels calciques, lorsqu'on développe avec des réducteurs organiques ; il se précipite par suite du carbonate de magnésie.

On peut empêcher cette formation postérieure de ce corps nuisible par sa précipitation préalable.

Il suffit d'ajouter à l'eau, avant de préparer le bain, du carbonate de sodium; la magnésie est précipitée; on laisse déposer l'eau qui, après filtration, est utilisable.

Souvent, après avoir développé le cliché, pour éviter des soulèvements de la couche de gélatine, on procède à l'alunage des épreuves par une solution d'alun, afin de durcir cette couche de gélatine.

On ajoute au bain d'alun de l'acide chlorhydrique pour prévenir la formation de l'oxalate ou de carbonate de calcium, suivant le développateur employé.

Le bain peut être ainsi composé :

Eau.	100	grammes
Alun	10	—
Acide chlorhydrique	5	—

En ajoutant de l'acide chlorhydrique au bain d'alun, il y a encore un avantage, qui consiste à empêcher la précipitation d'alumine de la solution d'alun.

En effet, si le phototype avait été développé au pyrogallol, ou avec tout autre réducteur organique, et si le lavage, après révélation de l'image négative, avait été mal fait, le cliché, retenant par suite des traces d'alcali, donnerait un précipité d'alumine :

$$[(So^4)^3 Al^2 + So^4K^2] + 3Co^3Na^2 = 3So^4Na^2 + So^4 K^2 + Al^2O^3 + 3Co^2.$$

Cet alumine, corps très floconneux et blanc, viendrait adhérer et former des taches sur le phototype, ce qui n'a pas lieu en additionnant le bain d'acide chlorhydrique, l'alumine étant soluble dans cet acide :

$$Al^2O^3 + 6HCl = Al^2Cl^6 + 3H^2O.$$

Certains opérateurs font, pour cette raison, l'alunage après le fixage ; de cette façon ils ne risquent pas de précipiter de l'oxyde d'aluminium et du soufre pulvérulent, ce qui arrive encore, pour la précipitation du soufre, lorsqu'on ajoute de l'alun au bain d'hyposulfite afin de fixer et empêcher le soulèvement de la gélatine par une même opération.

Si donc l'alunage est fait, sans ajouter d'acide, et que des sels de chaux se déposent, il suffit de plonger le phototype dans un bain acidulé par de l'acide chlorhydrique, puis de le laver soigneusement.

Pour fixer l'épreuve négative, on a généralement recours à l'hyposulfite de sodium, dont l'effet est de dissoudre le bromure d'argent, qui n'a pas été impressionné par la lumière et réduit au développement.

Si le cliché est bien lavé, au sortir du développateur, on peut effectuer le fixage à la lumière; si, au contraire, le cliché a reçu un lavage défectueux, le fixage ne devra se faire que dans le cabinet noir, à la lumière jaune ou rouge, si l'on ne veut pas s'exposer à jaunir son phototype.

Lorsqu'on traite les phototypes par le pyrogallol, ou tout autre réactif organique, il faut avoir soin de bien laver le cliché avant de le fixer à l'hyposulfite de sodium.

L'alcali, qui reste après la couche sensible, peut agir sur l'hyposulfite de sodium et le transformer en sulfure, qui, avec le gélatino-bromure d'argent, donne un sulfure d'argent noir, produisant de cette façon un voile sur le phototype.

En neutralisant cette alcalinité par le bain d'acide chlorhydrique, citrique ou tartrique, que nous avons formulé plus haut, on remédie à cet inconvénient.

De plus, on atténue ainsi le soulèvement de la gélatine, causé par son ramollissement par les alcalis.

Des taches jaunes ou brunes des phototypes se produisent souvent après fixage sur les phototypes, par suite d'un lavage défectueux du cliché, sur lequel est resté le développateur employé, tel que fer, pyrogallol et surtout l'hydroquinone.

L'alun facilite l'élimination du révélateur employé, qui aurait pu rester sur le phototype; dans ce cas, on peut employer une solution à 5 0/0, qui, en même temps, a affermi la couche de gélatine.

L'alun de chrome à 3 0/0 donne une légère teinte verte qui n'est pas nuisible et procure le même effet que l'alun ordinaire.

Si parfois le cliché jaunissait, dans le révélateur, on pourrait enlever sa teinte jaune en le plongeant cinq minutes environ dans un bain composé de :

Eau.	1 litre
Alun	100 grammes
Acide chlorhydrique	15 à 20 —

Avant le fixage, on lavera le phototype, bien entendu.

Une fois fixé, le cliché doit être complètement débarrassé de son hyposulfite de soude, sous peine de voir les épreuves sur papier se couvrir de taches jaunâtres, qui sont la plaie des tirages positifs.

Le phototype lui-même pourrait être altéré par des transformations à la longue, de l'hyposulfite, qui attaquerait l'argent du cliché; il se formerait des sulfures, puis du sulfate d'argent.

Les lavages à l'eau sont donc indispensables, et l'eau ordinaire étant considérée comme n'agissant pas toujours avec assez d'efficacité, on peut ajouter un peu d'hypochlorite de soude, qui, grâce à sa propriété oxydante énergique, transforme l'hyposulfite de sodium restant en bisulfate de sodium, corps excessivement soluble, que l'eau peut éliminer facilement.



Fig. 63. — Panier pour lavage des clichés pouvant se placer dans un récipient quelconque.

Pour chasser les dernières traces d'hyposulfite de sodium, on peut effectuer le lavage avec de l'eau contenant 7 à 8 centimètres cubes d'eau de Javelle (hypochlorite de sodium) du commerce, par litre.

On peut encore employer une solution d'hypochlorite de zinc.

Pour cela, on prépare l'hypochlorite de zinc, en broyant 20 grammes de chlorure de chaux (appelé, vulgairement, et à tort : chlore) avec de l'eau, dans un mortier, afin d'en faire une bouillie épaisse, qu'on dilue ensuite avec une nouvelle quantité d'eau pour obtenir 1 litre de produit, auquel on ajoute une solution de 40 grammes de sulfate de zinc, puis on laisse déposer.

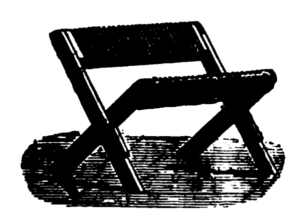


Fig. 64. — Egouttoir en bois pour le séchage des clichés.

Pour opérer avec le phototype, on le plonge pendant 2 minutes dans un bain composé de 1 partie du produit précédent et 6 parties d'eau.

L'eau oxygénée et le nitrate de plomb peuvent aussi être employés.

Il est bon de noter que le passage du phototype dans un bain d'alunage, après fixage, facilite aussi beaucoup l'élimination de l'hyposulfite de sodium.

On peut employer un bain à 3 0/0 d'alun ordinaire ou à 5 0/0 d'alun de chrome.

Un bain, formé de volumes égaux de solutions saturées de sel marin et d'alun, donne aussi de bons résultats.

Il suffit ensuite de faire un lavage à l'eau ordinaire.

d) **Des photocopies.** — La préparation des bains de virage, pour les photocopies, nécessite l'emploi d'eau dépourvue complètement de matières organiques.

S'il en était autrement, le chlorure d'or du bain de virage subirait, de la part des matières organiques, une action réductrice, et de l'or se précipiterait, ce qui amènerait une perte de chlorure d'or et une diminution de la force du bain :

$$2AuCl^3 + 3C + 6H^2O = 12HCl + 3Co^2 + 2Au.$$

Les eaux souillées de matières organiques doivent être rejetées de la préparation du bain de virage, de même que dans la sensibilisation du papier par une solution de nitrate d'argent, car l'argent se précipiterait à l'état métallique.

L'eau de pluie, en tombant, se charge de corps tels que des nitrites et de l'ammoniaque; ces corps sont nuisibles au bain de virage, dont ils provoquent l'altération.

Même l'eau distillée demande certaines précautions dans sa fabrication, précautions qui souvent ne sont pas prises.

Il faut avoir soin de ne jamais prendre de l'eau distillée, sans avoir nettoyé parfaitement l'alambic, après une distillation de produits organiques.

Souvent ces produits organiques s'incorporent dans l'eau distillée et fournissent les inconvénients signalés.

Cependant, lorsqu'on est contraint de se servir d'eaux chargées de matières organiques, dans les manipulations photographiques, l'élimination de ces matières peut se faire en ajoutant une solution de permanganate de potassium, qui se décolore.

Quand toutes les matières organiques sont détruites, l'eau prend une coloration violette, due au permanganate de potassium, mais il faut avoir soin de mettre une quantité

de permanganate de potassium suffisante sans être en excès.

On laisse reposer l'eau, qui, après filtration, est prête à être employée.

Une fois le virage et le lavage terminés, les photocopies sont fixées à l'hyposulfite de sodium, puis lavées à grande eau pour éliminer les dernières traces de cet hyposulfite, cause funeste d'altération.

Cet hyposulfite de soude provoque, en effet, au bout d'un certain temps, des taches et une détérioration de l'épreuve.

C'est, du reste, de ce dernier lavage que doit dépendre la résistance de l'épreuve; dans ce cas le lavage à l'eau distillée n'est pas préconisé.

Au contraire, on lave généralement à l'eau ordinaire, qui a la propriété, par les sels qui y sont dissous, de former avec l'hyposulfite de sodium des combinaisons facilement éliminables.

Un lavage à l'eau trop prolongé affaiblissant l'épreuve et enlevant son brillant, on peut diminuer de beaucoup la longueur du lavage, en transformant, comme on le fait pour les phototypes, l'hyposulfite restant en bisulfate de sodium, corps très soluble dans l'eau.

Pour cela, on plonge le positif, pendant un quart d'heure, dans une solution aqueuse d'eau de Javelle au 1 millième; ensuite on fait un lavage de deux heures à l'eau ordinaire, qui suffit amplement pour avoir une photocopie durable.

CHAPITRE X

DE L'EAU EN SUCRERIE

L'industrie sucrière, dans certaines phases de ses opérations, réclame de l'eau aussi pure que possible : ainsi, dans la filtration des jus sucrés par le noir animal, la diffusion et l'osmose.

Dans les sucreries où l'on fait usage de noir animal, dans la clarification, il importe de le laver avec de l'eau pure.

Si l'on employait des eaux salines ou des eaux calcaires, le noir animal perdrait vite son pouvoir décolorant, par suite de sa propriété d'absorption de ces substances salines.

Il faudrait procéder, au bout de peu de temps, à sa revivification ou à son remplacement.

La revivification du noir animal doit se faire, dans ce cas, avec une eau faiblement acidulée par de l'acide chlorhydrique ou de l'acide acétique, et non, comme on le fait parfois, avec un alcali, afin de transformer en sels solubles les sels calcaires et magnésiens qui auraient pu précipiter par le noir.

Ce traitement est suivi d'un lavage à l'eau pure, afin d'entraîner les sels rendus solubles et éliminer toute trace d'acidité.

L'enlèvement des matières organiques absorbées se fait par calcination du noir.

L'acide phosphorique et les phosphates solubles sont des sels, qui, à la vérité, n'opposent pas d'action gênante en sucrerie; mais il n'en est pas de même pour tous les autres sels.

La méthode d'extraction du jus sucré de la betterave, par diffusion, repose sur le phénomène d'osmose produit entre l'eau et le jus sucré, les cellules de la betterave formant cloison.

On doit donc prendre en considération les sels qui sont contenus dans l'eau, car la proportion augmente rapidement dans les jus concentrés, à cause des grandes quantités d'eau qu'on est obligé d'employer, en portant atteinte à la cristallisation et au rendement en sucre.

La plupart des sels contenus dans l'eau doivent être considérés comme entraînant une certaine quantité de sucre dans les mélasses, et parfois même leur action est directement pernicieuse.

L'abaissement du degré de pureté dans les diffuseurs de queue, où l'épuisement est considérable, est dû surtout aux sels de l'eau.

Les eaux chargées de sulfate de calcium, de sulfate de magnésium et de chlorures alcalins peuvent nuire aux opérations, en retenant une quantité notable de sucre dans les eaux-mères.

Les chlorures alcalins, en particulier, se combinent facilement au sucre pour donner des composés déliquescents.

Une eau, tenant en solution un chlorure, peut immobiliser 9,6457 de sucre prismatique par unité chimique de chlore ; le chlorure de sodium, composé du chlore, immobiliserait seulement 5,852 de sucre par unité.

Les eaux chargées de chlorure de sodium fournissent des jus de diffusion, qui sont naturellement bien plus salins qu'avec des eaux pures, ce qui nuit à leur qualité.

Les eaux qui titrent environ 30° hydrotimétriques sont généralement bonnes pour la diffusion.

Les dépôts de carbonate de calcium, qui se forment, sur les cossettes, par la décomposition du bicarbonate calcique dissous dans l'eau, deviennent nuisibles à la diffusion, lorsque la teneur en sels calcaires est élevée, ou, ce qui revient au même, lorsque les quantités d'eaux employées sont énormes.

Ces formations calciques sont aussi un inconvénient pour les produits résiduaires, dont ils abaissent la valeur comme aliment nutritif des bestiaux.

Des eaux mêmes pures, mais contenant des matières en suspension, doivent être rejetées ou subir une filtration préalable.

Ainsi : le sable qui peut être entraîné par l'eau dans les appareils diffuseurs, provoque des désordres et l'usure des soupapes; ce cas est encore assez fréquent par suite de négligence.

Il peut encore se produire des formations sulfurées, qui altèrent le jus de diffusion, lorsqu'on emploie des eaux renfermant des produits organiques en putréfaction.

On a toujours à craindre ces formations de l'hydrogène sulfuré, avec des eaux qui contiennent des sulfates alcalino-terreux et des matières organiques; dans ce cas, les sulfates sont très sujets à réduction; aussi les eaux souillées de matières organiques devront toujours être filtrées.

Des dépôts de sels calciques, sulfates et carbonates, peuvent encore avoir lieu sur les serpentins des appareils à cuire, dont l'action devient très gênante, par suite de la mauvaise conductibilité de ces sels, qui augmente suivant l'épaisseur du dépôt et qui, par conséquent, est fonction de leur teneur dans l'eau.

M. Pellet a proposé une méthode rapide, permettant de faire une appréciation sur la valeur de l'eau, dont on peut avoir à se servir dans la pratique industrielle du travail des jus.

Pour cela, on prend une prise d'essai de 2 à 3 litres de l'eau dont on veut faire usage.

On ajoute 5 à 6 centimètres cubes d'un lait de chaux, préparé convenablement, en ayant soin de séparer, par décantation, l'eau tenant les sels en solution.

Ceci fait, on carbonate à fond l'eau de chaux en l'échauffant vers 75°, puis 90°, et enfin en faisant bouillir assez longtemps, on filtre, puis on complète la filtration à 2 ou 3 litres, suivant la prise d'essai.

On prend ensuite 1 litre d'eau; on l'évapore à sec, on calcine, et le poids du résidu permet d'évaluer d'une façon très suffisante ce que le travail peut fournir comme dépôt.

Il est évident que l'on peut calculer le poids des matières organiques qui se trouvent dans ce résidu et en faire la déduction.

Dans la purification des eaux de sucrerie, il est un point à considérer, c'est l'introduction dans l'eau, pour obtenir cette purification de corps solubles pouvant nuire à la diffusion.

La précipitation des sels de chaux ou de magnésie, par une base usitée pour purifier l'eau, telle que : la potasse ou la soude, amène forcément des transformations, par voie de double décomposition, des sels solubles, tels que du sulfate de sodium et du sulfate de potassium, qui restent dans l'eau.

Le titre hydrotimétrique de l'eau, qui pouvait être très élevé avant son épuration, ce qui faisait rejeter cette eau, baissera sensiblement pour devenir presque nul.

L'eau résultant de cette correction, bien qu'ayant alors un titre insignifiant, donnera cependant, par la diffusion, un dépôt presque égal à celui qu'elle formait auparavant.

Cette eau corrigée est donc presque aussi mauvaise après qu'avant sa purification.

Les eaux à corriger doivent donc faire l'objet d'une purification méthodique; il est préférable, lorsque l'eau est trop chargée de sels calciques, d'employer celles qui proviennent de la condensation, qui, du reste, sont très abondantes dans les sucreries.

Le triple effet étant une véritable fabrique d'eau distillée, les eaux de retour de la deuxième et troisième caisse trouvent leur utilisation avantageuse dans le lavage des écumes aux filtres mécaniques, analogues aux filtres-presses, qui offrent de grands avantages sur les filtres à noir animal.

Dans ces eaux de retour, l'ammoniaque, qui peut être ntraîné, est retenu ordinairement par des chicanes, que le constructeur dispose à la suite du triple effet.

Nous devons ajouter que les eaux qui alimentent les générateurs de vapeur dans les sucreries ne doivent pas contenir de chlorure de magnésium.

Nous avons vu, dans le chapitre relatif à *l'alimentation des générateurs*, combien ce sel était néfaste, par sa dissociation en acide chlorhydrique.

Dans les sucreries, l'adduction de la vapeur jouant un grand rôle dans les appareils usités, des eaux semblables doivent être rejetées, si l'on veut éviter des corrosions et détériorations rapides des conduites, à moins de faire subir à l'eau : une correction.

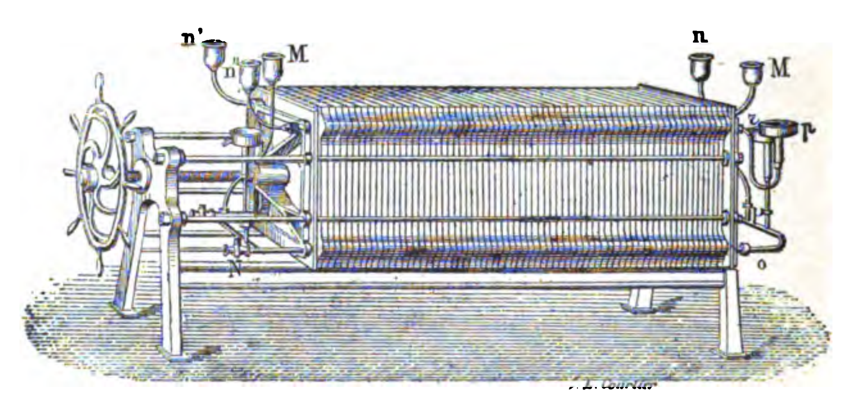


Fig. 65. — Osmogène Dubrunfaut à 100 cadres.

De plus, on peut retrouver cet acide chlorhydrique dans les eaux de condensation que l'on utilise; il devient ainsi une gêne pour les manipulations.

Comme la diffusion, l'osmose repose sur les mêmes principes, mais avec cette différence que c'est une feuille de parchemin qui joue le rôle des cellules de la betterave.

Par l'osmose, on enlève aux mélasses ou aux sirops les sels qui s'opposent à la cristallisation du sucre.

Grâce à la porosité du papier-parchemin, il s'établit un double courant, qui fait que les matières salines de la mélasse sont éliminées dans les eaux d'exosmose, en laissant une masse sucrée, purifiée et, par suite, cristallisable.

Tout l'osmose reposant sur la porosité du papier-parchemin, la nature des eaux exerce une action importante; car, de plus, la quantité d'eau à employer y est relativement grande, si l'on considère que l'on se sert en moyenne d'une proportion d'eau égale à 6 fois le poids de la mélasse.

Par des eaux impures, les pores des septums sont vite obstrués; l'osmose se fait mal; le rendement devient faible, et l'on se trouve dans la nécessité de procéder au nettoyage de l'osmogène ou au remplacement des cadres de parchemin.

Moins les eaux contiennent des sels en solution, plus il est facile de réaliser l'élimination des matières salines de la mélasse et d'augmenter, par conséquent, le rendement en sucre.

De même qu'on débarrasse la mélasse, avant d'osmoser, des sels de chaux qui sont mélassiques et réfractaires à l'osmose, on doit éviter aussi d'employer des eaux calcaires qui ralentissent la séparation des matières salines.

Dans plusieurs pays étrangers, la pratique de l'osmose a pris un élan considérable, parce que les sucreries avaient à leur disposition des eaux de grande pureté.

L'épuration des eaux utilisées dans les osmogènes est souvent des plus nuisibles aux intérêts de la bonne marche de l'opération, par les produits employés qui viennent s'incorporer dans la masse du liquide.

Dans les sucreries, les productions de vapeur ne manquent pas; aussi peut-on dire qu'en même temps que le sucre on a un générateur industriel d'eau distillée.

C'est dans l'osmose, comme dans la diffusion, que cette eau trouvera avantageusement son emploi et permettra d'obtenir des résultats meilleurs qu'avec les eaux naturelles ou corrigées.

Les dépôts provenant des eaux calcaires ou autres, comme ceux produits par la mélasse dans l'osmogène, forcent à faire un nettoyage pour éliminer les différents sels.

Pour cela, on vide l'osmogène, et on le remplit d'eau, puis on ajoute par petites portions de l'acide chlorhydrique jus-

qu'à ce que tous les sels, en particulier les sels calcaires, soient dissous.

Un litre d'acide chlorhydrique suffit généralement par osmogène.

Au bout de quelques minutes, on enlève cette eau acidulée, et finalement on lave l'osmogène : à l'eau pure, et il est alors prêt à fonctionner de nouveau.

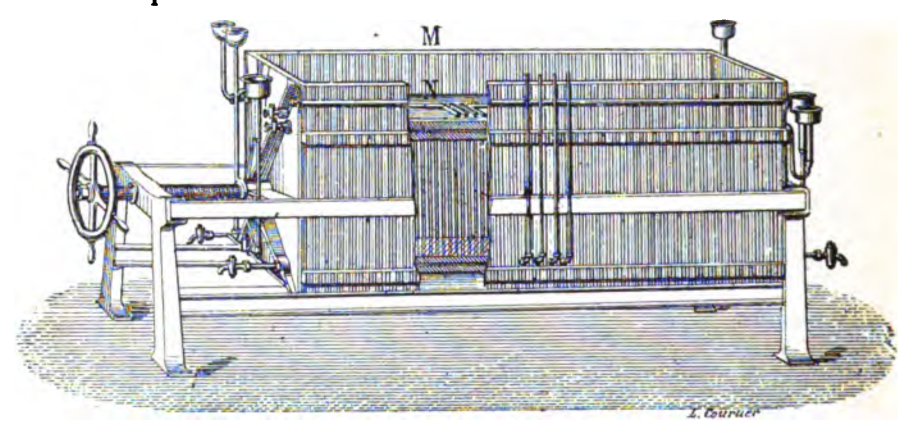


Fig. 66. — Osmogène évaporateur à double osmose, système Leplay.

Il est bon de noter aussi que : le triple effet se tapisse facilement de dépôts de composition des plus complexes, formés en grandes parties de sels de chaux de diverses provenances.

Ces dépôts nécessitent un nettoyage du triple effet, afin d'avoir une bonne transmission de la chaleur et d'éviter ainsi la décomposition du sucre.

Ce nettoyage du triple effet s'exécute par un grattage à l'outil des faisceaux tubulaires et ensuite par l'introduction d'un peu d'acide chlorhydrique ou de carbonate de sodium.

Si le dépôt paraît résister, c'est que, généralement, il est de nature siliceuse, et un simple traitement à la soude suffit pour en avoir raison.

Il ne s'agit plus que de vider le triple effet et de faire un lavage à l'eau claire pour éliminer tous les sels solubles restant et toute trace d'acidité, l'évaporation des jus sucrés peut être continuée.

CHAPITRE XI

DE L'EAU DANS LA FABRICATION DE LA GLACE ET DES BOISSONS

L'eau dans la fabrication de la glace, des eaux gazeuses et des boissons, est une question de la plus haute importance, car elle intéresse la santé et l'hygiène publique.

La première des conditions pour les boissons est d'employer des eaux rigoureusement potables, tant au point de vue de leur composition chimique que de leur examen bactériologique, à moins de leur faire subir un mode d'épuration, de filtration et de stérilisation, approprié.

En effet, il est indispensable de considérer que les substances chimiques introduites pour l'épuration d'une eau se trouvent dans cette eau, après avoir subi des transformations dont il faut se rendre compte et examiner les effets dans l'alimentation.

Il résulte d'un rapport élaboré avec la compétence du savant professeur Riche, sur l'emploi de la glace dans l'alimentation, et présenté au Conseil d'Hygiène de la Seine, que la congélation de l'eau ne détruit pas tous les microorganismes contenus dans cette eau, de sorte que la glace devient un véritable véhicule de germes pathogènes et peut contenir le bacille typhique qui est à peine influencé.

Le froid n'agit pas sur tous les microbes; certains diminuent considérablement et même disparaissent par la congélation, ainsi : le *bacillus prodigiosus* et le *Proteus vulgaris*. Mais l'action morbide est bien plus active sur les microbes, après plusieurs congélations successives, qu'après une congélation de longue durée.

Souvent la glace de provenance naturelle est des plus nuisibles à la santé publique, extraite des étangs, des lacs ou de petits ruisseaux, elle contient toutes les souillures de l'eau qui l'a engendrée.

Cette eau, que l'on n'emploierait pas dans son état liquide, sans une certaine répugnance, est absorbée alors sous forme de glace.

L'examen des eaux des environs de Paris, où l'extraction de la glace se fait, comme au parc de Saint-Cloud, étang de Tourvois, lacs du bois de Boulogne et du bois de Vincennes, a montré que ces eaux étaient des plus défectueuses et qu'aucune d'elles n'était potable.

Un arrêté, du 30 juin 1893, interdit complètement l'exploitation de la glace dans l'étang de la Briche.

L'exploitation des lacs du bois de Vincennes et du bois de Boulogne comprend cependant la plus grande partie de la consommation parisienne, et elle rentre pour 38.000 tonnes par an, tandis que la fabrication de la glace artificielle n'est que de 23.000 tonnes environ ; mais nous devons ajouter que le manque de glace pendant l'été 1898 a suggéré à plusieurs industriels l'idée d'établir de nouvelles fabriques, qui vont accroître sensiblement la production annuelle.

Comme la glace naturelle, la glace artificielle peut être aussi un foyer microbien et renfermer les bactéries les plus dangereuses, si l'eau employée dans sa fabrication ne présente pas toutes les qualités des eaux potables.

En admettant même que l'on veuille obtenir de la glace naturelle par l'exposition aux variations atmosphériques d'eau potable dans les bassins spéciaux, cette eau ne tardera pas à se souiller des différents germes pathogènes atmosphériques, et, par suite, la glace sera nuisible à l'alimentation.

Il est donc nécessaire, dans la fabrication de la glace, de se servir d'eau stérilisée ;

Les conclusions qui avaient été adoptées sur le rapport du savant professeur Riche, par le Conseil d'Hygiène de la

Seine, ont été prises d'une façon analogue par le Comité consultatif d'Hygiène publique de France, avec M. Ogier comme rapporteur, d'après lesquelles il appert que :

Il y a lieu de réglementer le commerce de la glace :

1° En interdisant aux fabricants, dépositaires ou débitants, de vendre ou de mettre en vente pour les usages alimentaires de la glace qui, par fusion, ne donnerait pas une eau, qui, à l'examen chimique ou bactériologique, ne posséderait pas les caractères d'une bonne eau potable;

2° En imposant aux fabricants, ou dépositaires de glaces alimentaires industrielles, l'obligation de conserver ces deux sortes de produits dans des locaux séparés, en obligeant aussi les débitants à conserver les deux espèces de glace dans des cases ou réservoirs distincts, munis de marques apparentes empêchant toute confusion.

La question de la glace alimentaire, à la suite des décisions prises par le Conseil d'Hygiène de la Seine et le Comité consultatif d'Hygiène publique de France, a été l'objet d'une ordonnance de M. le Préfet de Police, ainsi conçue :

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

LIBERTÉ. — ÉGALITÉ. — FRATERNITÉ

PRÉFECTURE DE POLICE

ORDONNANCE CONCERNANT LE COMMERCE DE LA GLACE A RAFRAICHIR

Paris, 13 décembre 1899.

Nous, Préfet de Police;

Vu les arrêtés des Consuls des 12 messidor an VIII et 3 brumaire an IX;

Les lois des 14 août 1850 et 10 juin 1853;

Vu l'avis émis par le Conseil d'Hygiène publique et de Salubrité de la Seine dans sa séance du 12 mai 1893;

Vu la dépêche de M. le Ministre de l'Intérieur en date du 19 mars 1894, approuvant cet avis;

Considérant qu'il importe à la santé publique de ne laisser livrer à l'alimentation que de la glace ne contenant aucun principe nuisible.

Ordonnons ce qui suit :

ARTICLE PREMIER

Il est interdit, à tous marchands, fabricants, dépositaires, débitants de vendre ou de mettre en vente de la glace qui, par fusion, ne donnerait pas de l'eau potable.

ARTICLE 2

Les fabricants et dépositaires de glace alimentaire devront conserver ces deux sortes de glace dans deux locaux entièrement séparés, l'un affecté à l'emmagasinage de la glace pure, sur la porte duquel seront inscrits sur fond blanc les mots : *glace alimentaire*, l'autre affecté avec l'emmagasinage de la glace non pure, exclusivement destinée aux usages industriels, sur la porte duquel seront inscrits, sur fond rouge, les mots : *glace non alimentaire*.

ARTICLE 3

Les véhicules servant au transport de la glace porteront ces mêmes inscriptions, selon qu'ils seront affectés au transport de la glace alimentaire ou à la glace non alimentaire.

En aucun cas, ces véhicules ne pourront être employés au transport d'une catégorie de glace autre que celle désignée par l'inscription dont ils seront revêtus.

ARTICLE 4

Les débitants de glace au détail seront tenus d'avoir deux cases, ou réservoirs étanches, sans communication entre eux, affectés l'un à la glace alimentaire, l'autre à la glace non alimentaire.

L'un et l'autre porteront les inscriptions distinctes prescrites ci-dessus.

Les débitants qui ne pourront avoir deux réservoirs ne devront vendre que de la glace alimentaire.

ARTICLE 5

Le Directeur du Laboratoire de Chimie, établi près la Préfecture et les Commissaires de police et les agents placés sous leurs ordres, sont chargés de l'exécution de la présente ordonnance, qui sera imprimée et affichée.

Le Préfet de Police,
L. Lépine.

Par le Préfet de Police,
Le Secrétaire Général,
E. Laurent.

Dans la fabrication des boissons et, en particulier de l'eau de Seltz, on ne doit pas employer, comme fermetures : des têtes de siphon en plomb ou renfermant une trop grande proportion de plomb, car l'acide carbonique active son attaque, et, par suite, l'eau entraîne ce métal, absolument toxique, en dissolution.

A cet effet, une ordonnance de police, remontant au mois de juin 1862, a admis seulement une tolérance de 10 0/0 de plomb dans les alliages servant à la confection des têtes de siphon.

De même que pour l'exploitation de la glace, la fabrication des boissons gazeuses est sujette aux inconvénients afférents à la qualité de l'eau employée ; aussi le Comité consultatif d'Hygiène publique de France, dans sa séance du 25 août 1884, a-t-il invité M. le Préfet de Police à prendre des mesures en conséquence, pour proscrire, dans la fabrication des siphons, toute eau suspecte, notamment les eaux de l'Ourcq et celles des puits.

Il est donc indispensable, dans la fabrication de la glace et des boissons gazeuses, de faire un examen chimique et bactériologique de l'eau employée.

D'après le rapport du Dr Pouchet, le Comité consultatif d'Hygiène de France a admis, dans sa séance du 10 août 1885, qu'on peut se rendre compte suffisamment de la valeur d'une eau, en donnant des indications sur la présence des nitrates et des résultats rigoureux relatifs à :

1° Quantité de résidu solide laissé par l'eau ;

2° Poids de matières volatiles au rouge ;

3° Degré hydrotimétrique ;

4° Poids de chlorures ;

5° Poids de sulfates ;

6° Quantité d'oxygène enlevé au permanganate, qui, du reste, est proportionnelle à la quantité de matières organiques, dosées par pesée directe après la combustion.

Le tableau ci-dessous donne la qualité des eaux suivant la nature et la proportion des corps qui s'y trouvent contenus.

CORPS CONTENUS DANS L'EAU par litre	EAU très pure	EAU potable	EAU suspecte	EAU mauvaise
Chlore.	Moins de $0^{gr},015$	Moins de $0^{gr},040$	de $0^{gr},50$ à $0^{gr},100$	Plus de $0^{gr},100$
Acide sulfurique	de $0^{gr},002$ à $0^{gr},005$	de $0^{gr},005$ à $0^{gr},030$	Plus de $0^{gr},030$	Plus de $0^{gr},050$
Matières organiques en oxygène dosées en solution alcaline	Moins de $0^{gr},001$	Moins de $0^{gr},002$	de $0^{gr},003$ à $0^{gr},004$	Plus de $0^{gr},004$
Perte de poids au rouge . . .	Moins de $0^{gr},015$	Moins de $0^{gr},040$	de $0^{gr},040$ à $0^{gr},070$	Plus de $0^{gr},100$
Degré hydrotimétrique total.	5° à 15°	15° à 30°	au-dessus de 30	au-dessus de 200
Degré hydrotimétrique persistant après l'ébullition. .	2° à 5°	5° à 12°	12° à 18°	au-dessus de 20

Pour statuer d'une façon efficace sur la valeur de l'eau, au point de vue de l'alimentation, qui peut entrer dans la confection des boissons gazeuses et de la glace, il est de toute nécessité de faire suivre l'analyse chimique d'un examen micrographique.

La qualité d'une eau varie infiniment suivant la nature et la quantité de microbes qui s'y trouvent contenus.

Suivant la quantité de bactéries qu'elle renferme par centimètre cube, une eau est considérée comme :

Eau très bonne...............	0	à	50
Eau bonne.....................	50	à	500
Eau médiocre..................	500	à	3.000
Eau mauvaise..................	3.000	à	10.000
Eau très mauvaise.............	10.000	à	100.000

Les eaux de sources naturelles renferment de 1.000 à 1.300 bactéries.

Une eau, pour être potable, ne doit en aucun cas contenir de microbes pathogènes.

L'eau de Seltz agit par son acide carbonique différemment sur les microbes. D'après les expériences de Hochstetter, les microbes tels que : le *Mic. tetragenus*, le bacille du choléra, le bacille vert, le *Mic. aurantiacus* et la levure rose résistent beaucoup moins dans l'eau de seltz que dans l'eau distillée ; mais le contraire a lieu pour : le *Mic. prodigiosus*, le bacille jaune et le bacille α.

Le bacille typhique, particulièrement, persiste dans l'eau de Seltz bien plus longtemps que dans l'eau distillée.

L'action microbienne des eaux, servant à la confection des boissons et de la glace, disparaît complètement par une stérilisation convenable, nous examinerons du reste dans un chapitre spécial : la *stérilisation industrielle des eaux*.

CHAPITRE XII

DE L'EAU DANS LA FABRICATION DU CIDRE

Certes il est regrettable de voir que la propreté rigoureuse, préconisée par l'illustre Pasteur, dans la préparation des boissons fermentées, qui est devenue la règle dans presque toutes les brasseries, ne soit pas mieux observée dans un grand nombre d'exploitations de pommes à cidre.

Souvent la préparation du cidre est faite par le cultivateur lui-même, qui néglige les règles les plus élémentaires dans le choix de l'eau dont il se sert pour ses différentes manipulations.

L'eau joue un rôle important dans la qualité du cidre, son goût et sa conservation ; on a malheureusement passé sous silence l'étude de l'influence qu'exercent sur le cidre les substances qui peuvent se trouver en solution dans l'eau ; mais nous pouvons dire que des cidres que l'on trouve meilleurs que d'autres dépendent bien souvent de la nature et de la proportion des sels contenus dans l'eau employée à sa fabrication.

Comme les presses ne retirent pas du premier jet tout le suc qui se trouve dans la pulpe, le marc retient donc une certaine quantité de matières utiles; aussi dans l'industrie de la fabrication du cidre a-t-on recours à l'eau pour extraire la plus grande partie du jus sucré.

Cette eau devant se retrouver ensuite dans notre organisme, par suite de l'obtention du cidre, il est donc évident qu'on doit commencer par n'introduire, dans la fabrication du cidre, que de l'eau potable.

Elle devra donc en avoir le caractère, c'est-à-dire être limpide, aérée, sans odeur, ne pas contenir de microbes pathogènes, ne pas donner de troubles par l'ébullition et ne pas s'opposer au savonnage et à la cuisson des légumes.

Quelques paysans ignorants préfèrent à une eau claire et saine les eaux croupies des mares, et certains mêmes vont jusqu'à prétendre que le cidre n'en devient que plus généreux.

Ce sont ces eaux provenant des mares, dans lesquelles les animaux des étables sont venus se baigner en y déposant leurs déjections qu'ils introduisent dans la confection de leur boisson, et ils prétendent que cette eau n'a aucune influence sur la fermentation, la qualité et la conservation du cidre !

D'une pareille eau, qui a croupi dans les mares ou qui est chargée de déjections, il résulte des troubles sérieux dans la fabrication, car on introduit les germes les plus variés, ferments acétique, butyrique, lactique, nitrique, nitreux, etc., et des éléments complexes nuisibles à la fermentation.

En dehors de sa qualité, de son goût et de sa saveur désagréable, le cidre peut provoquer des maladies, par l'introduction de cette eau microbienne, qui, dans le cours de la fabrication, ne subit aucune stérilisation, comme dans certaines industries reposant sur la fermentation.

Ces eaux de mares, qui se trouvent à proximité des étables, reçoivent presque toujours, soit par infiltration, soit par adduction directe et volontaire, le purin et les déjections.

Ces eaux contiennent, par suite, des résidus graisseux, tels que de la butyroléine, de l'acide butyrique libre, des butyrates de calcium, des sels ammoniacaux et des matières grasses du suint, qui contribuent à donner au cidre une odeur désagréable et un goût de rance.

Avec les eaux de puits, les sels de calcium, qui y sont contenus, forment avec le cidre différents composés qui nuisent à la qualité du cidre.

Par une aération convenable des eaux calcaires, on peut

les débarrasser de leur carbonate de calcium, qui se précipite.

Comme pour les sels calcaires, l'influence des substances ammoniacales et ferrugineuses sur l'altération du cidre est manifeste.

On constate souvent que le cidre, prend une couleur brune ou noire; on dit que le cidre « se tire », selon l'expression consacrée.

Par l'emploi de l'acide tartrique ou du tannin, on peut remédier à cet inconvénient; il suffit d'ajouter 30 grammes environ d'acide tartrique, ou une dose d'une dizaine de grammes de tannin par hectolitre de cidre.

Il est avantageux de faire cette addition, car, en dehors de l'apparence, le cidre est plat, ne possède aucun montant et est très désagréable à boire.

Lorsqu'on introduit de l'eau contenant des sels de fer dans la fabrication du cidre, il se produit une coloration noire ; en ajoutant 20 grammes environ de tannin pour 100 litres de cidre, on précipite les sels de fer sous forme de tannate qui se dépose.

Après dépôt, on soutire. Quant à la fermentation acétique provoquée au détriment de l'alcool du cidre par la présence du « mycoderma aceti » on l'évite, en empêchant le contact de l'air, en recouvrant le cidre, d'une couche de bonne huile d'olive (1/3 de litre par hectolitre de cidre).

CHAPITRE XIII

DE L'EAU EN BRASSERIE

L'eau mise en œuvre dans la fabrication de la bière influe considérablement sur sa qualité, non seulement par sa composition chimique, mais encore par ses conditions bactériologiques.

Avant d'établir une brasserie, on doit donc se préoccuper de la nature de l'eau qu'on aura à sa disposition ; le fait même de la pureté de l'eau ne suffit pas pour fabriquer des bières de première qualité, et l'eau distillée est loin d'être le type de l'eau de brasserie.

Cependant, d'une façon générale, une eau qui présente tous les caractères de l'eau potable est propre aux usages de la brasserie, et il est toujours temps de la modifier, dans sa composition, par une addition de substances appropriées.

En premier lieu, l'eau employée doit donc être incolore, inodore, insipide, et dépourvue de matières organiques.

La considération des matières minérales dissoutes dans l'eau, et leurs actions, nous amènent à constater que, dans certains cas, et suivant leur nature, elles sont nuisibles, tandis que, dans d'autres cas, elles sont utiles dans le travail de la bière et la bonifient.

Ainsi les eaux gypseuses de Burton sur Trent, en Angleterre, qui contiennent 111 grammes de sulfate de calcium par hectolitre, motivent l'établissement de nombreuses brasseries dans cette région, par la renommée qu'elles ont fait acquérir à leurs produits de qualité supérieure.

Pour la fabrication de l'ale, les Anglais emploient surtout

des eaux séléniteuses, et beaucoup de brasseurs corrigent leurs eaux trop douces, en ajoutant une certaine quantité de sulfate de calcium.

Il est de toute nécessité de connaître les effets des substances, qui peuvent se trouver en solution dans les eaux, sur les différentes phases des opérations de la brasserie.

En tant que fabrication de la bière, on distingue trois opérations :

1° La germination artificielle des grains ;

2° La fabrication proprement dite ou brassage ;

3° La fermentation.

La germination artificielle ou maltage est une opération de premier ordre ; car, suivant la qualité du malt qu'elle fournit, on obtient une bière plus ou moins bonne.

Il est donc important de prêter toute son attention, pour avoir du malt dans les meilleures conditions possibles, aussi doit-on tenir compte de la nature de l'eau.

Le maltage se subdivise lui-même en trois parties :

a) Le trempage des orges ;

b) La germination de longueur voulue ;

c) Le séchage.

Par le trempage de l'orge, on a pour but de procurer aux grains la quantité d'eau nécessaire, pour permettre le développement de l'embryon, et le préparer à la saccharification.

On doit faire en sorte que la conduite du trempage soit bien menée et éviter autant que possible tout arrosage des couches d'orge au germoir.

Par un arrosage de l'orge au germoir, comme le font encore certains malteurs, on s'expose à des pertes diverses de l'arome du malt, à des dégagements abondants d'acide carbonique et à un développement démesuré des radicelles.

Le trempage ou mouillage des orges doit se faire à basse température, en renouvelant souvent l'eau qui doit être bien aérée.

Une eau qui ne contient pas suffisamment d'air asphyxie

le grain, amène sa destruction, et la moisissure le gagne rapidement.

L'oxygène, dans le trempage, est donc des plus utiles; il arrête les moisissures d'une façon efficace, sans avoir besoin d'introduire, dans les eaux de trempage, des antiseptiques dangereux, comme l'acide salicylique.

Il est avantageux de remédier aux mauvaises odeurs qui peuvent se dégager des eaux de trempage pendant l'été; la chaux qui a été proposée par M. Couturier agit comme antiseptique et permet d'éviter cet inconvénient.

En trempant les orges avec de l'eau de chaux au lieu de d'eau naturelle, la chaux amène la destruction de ferments qui se portent sur l'orge et empêche par suite toute altération postérieure.

Par ce trempage, l'orge conserve toutes ses qualités; la germination se poursuit régulièrement et avec force.

Examinons l'influence des substances, que l'on rencontre fréquemment dans les eaux, sur les opérations de la brasserie.

§ 1. — INFLUENCE DES SUBSTANCES CONTENUES DANS L'EAU

a) **Matières organiques.** — Si l'on procède au trempage de l'orge avec des eaux chargées de matières organiques, la moisissure est favorisée, le maltage se fait d'une façon défectueuse, et de grands désordres peuvent survenir dans la fabrication.

Dans le brassage, l'action de la levure est souvent anéantie par les matières organiques de l'eau, qui provoquent son empoisonnement.

Par suite de la présence des matières organiques, lorsqu'on procède à l'ébullition du moût, la bière se colore d'autant plus fortement que l'eau employée en contient davantage.

En général, les eaux qui renferment des matières organiques sont nuisibles, car elles peuvent devenir le siège de

fermentations autres que celles qu'on désire obtenir et par conséquent provoquer des troubles.

Même dans le lavage des foudres et des ustensiles de brasserie, une eau dépourvue de matières organiques s'impose; les matières organiques et les bactéries peuvent adhérer à ces ustensiles et contribuer à l'altération de la bière.

Les eaux souillées des matières organiques amènent, surtout par la chaleur, une décomposition de ces matières qui empêchent la conservation de la bière et en changent complètement le goût.

Souvent même on constate l'odeur des œufs pourris provoquée par la formation de l'hydrogène sulfuré aux dépens de ces matières organiques; on peut généralement remédier à cette action néfaste en aérant l'eau fortement.

Malheureusement les eaux de rivières et des canaux sont invariablement souillées de substances organiques, qu'elles rencontrent sur leur parcours, ou par les eaux résiduaires qui s'y déversent.

Il est donc difficile de ne pas être en présence d'eaux qui en soient complètement dépourvues; cependant on peut, en brasserie, se servir d'eaux qui en contiennent de petites quantités.

Une eau qui renferme plus de 50 milligrammes de matières organiques par litre est considérée comme impure.

Si l'emploi d'une eau qui en contient beaucoup est nécessaire, parce qu'on n'en possède pas d'autres, il faut la traiter au préalable; on peut la faire bouillir ou la purifier par le permanganate de potassium et la filtrer.

Le permanganate de chaux, à la dose de 1 gramme par hectolitre, fournit aussi de bons résultats; les matières organiques sont oxydées, et il se forme de la chaux et de l'oxyde de manganèse.

Un autre moyen, préconisé par Traute, consiste à traiter l'eau par du chlorure de chaux et à en éliminer l'excès par un sulfite alcalin.

On peut encore employer, pour retenir les matières organiques et la plupart des germes, un simple filtre constitué par une couche de sable de 1 mètre d'épaisseur environ.

A Munich, où les bières sont des plus estimées, l'eau même, qui est employée à la fabrication, n'est pas complètement dépourvue de matières organiques, comme, du reste, dans beaucoup de centres de brasseries, et elle en contient environ 4 milligrammes par litre.

Les matières organiques de l'eau peuvent être transformées par des actions favorables en des composés hydrogénés et oxygénés de l'azote, comme les sels ammoniacaux, les nitrites et les nitrates, et exercer des actions fâcheuses sur la bière.

b) **Ammoniaque, nitrite, nitrate.** — Par la décomposition des matières organiques de l'eau, il se forme des composés ammoniacaux.

Les nitrites et les nitrates résultent de l'oxydation plus ou moins grande de ces matières organiques.

Ces différents sels favorisent le développement du ferment Renard, ferment de maladie de la bière qui empêche sa conservation.

Une eau de brasserie doit complètement être exempte de sels ammoniacaux, et leur présence est décelée par le réactif de Nessler.

L'élimination de ces sels ammoniacaux étant difficile à obtenir pratiquement, il est bon d'exclure toute eau qui en contient, comme, du reste, celles qui renferment des nitrites en solution.

Les nitrites sont des corps facilement oxydables, dont l'oxydation est susceptible de se produire d'une façon gênante, au cours même de la fabrication.

La décomposition des nitrites formés peut aussi survenir à la suite de réactions qui ont lieu, soit pendant le maltage, soit pendant l'ébullition du moût.

Grâce à l'oxydation facile des nitrites, il est aisé de les

éliminer ou plutôt de les transformer; cela prouve d'ores et déjà qu'une eau qui contient des nitrites est aérée et renferme le plus souvent des matières organiques.

En faisant tomber l'eau en cascade, afin de favoriser le contact de l'air ou en envoyant à l'eau de l'air dans sa masse, les nitrites sont vite transformés en nitrates.

Mais cette transformation, résultat d'une oxydation, ne fournit qu'une substitution d'un produit à l'autre, et finalement les nitrates obtenus sont souvent des corps aussi nuisibles.

Presque toutes les eaux renferment des nitrates, et l'action est en rapport avec leur quantité.

Cette action se porte sur la levure; la fermentation est entravée ; le moût prend une coloration rouge intense, et la bière acquiert un goût âcre.

Les nitrates provoquent encore une diminution de l'extrait et un abaissement de l'atténuation.

On peut tolérer jusqu'à 15 milligrammes d'acide azotique par litre d'eau.

Ces azotates sont surtout nuisibles, lorsqu'il y a en même temps de petites quantités de sels ammoniacaux, de nitrites ou de matières organiques, car ils sont alors placés dans un milieu propice aux réactions les plus diverses.

Une eau qui contient 2 0/0 d'azotate de soude ou de potasse ne diminue pas, selon M. A. Bruttini, la puissance germinative des grains d'orge. Mills et Pettigiew prétendent même qu'elle est facilitée.

c) **Chlorures.** — Lorsqu'une eau contient de petites quantités de chlorure de sodium, elle peut être employée ; mais, si la proportion de chlorure de sodium est relativement grande, il n'en est plus de même, et la germination est gênée.

Une eau, contenant environ 2 0/0 de chlorure de sodium, qui serait employée pour le maltage de l'orge, empêcherait le développement des radicelles et favoriserait la plumule.

Il en est de même pour les eaux contenant du chlorure de magnésium, et, en général, pour toutes celles qui renferment des chlorures.

L'eau chargée de sel marin dissout une proportion bien plus grande de matières organiques que l'eau distillée et que l'eau dure ; le sel marin exerce une action dissolvante sur l'albumine.

Une bonne eau, pour être potable, ne doit pas contenir plus de 0gr,05 de chlore par litre ; mais, en brasserie, on peut en tolérer cependant une plus grande quantité.

Suivant la proportion de sel marin en solution dans l'eau, la bière acquiert un goût tantôt sucré, tantôt amer ; le goût de sucré est produit par des quantités inférieures au millième.

Par le sel marin, la levure est encore affaiblie.

Avec les eaux chargées de chlorure de calcium, on diminue le rendement de la levure ; elle devient grasse, et l'on éprouve des difficultés à la presser.

D'après M. P. Petit, les eaux qui renferment du chlorure de calcium augmentent les malto-dextrines ou combinaisons de maltose et peuvent être utilisées dans les brasseries où l'on cherche à fabriquer des bières très dextrineuses à faible atténuation.

Il résulte des observations de M. J. Stauffer qu'il faut éviter d'employer du zinc dans les appareils des brasseries, lorsqu'on se sert d'eaux contenant des chlorures.

Le chlore se combine facilement au zinc et fait subir une transformation de la maltose en mannite, qui s'effectue pendant la fermentation principale.

Cette bière prend un goût des plus désagréables, et l'atténuation est de beaucoup retardée.

Pour éviter cet inconvénient, on peut remplacer avantageusement les pièces en zinc par du fer-blanc.

Il faut, de même, supprimer le zinc dans l'intérieur et dans le chapeau des cheminées d'aspiration des chaudières, car les vapeurs peuvent entraîner facilement des composés

du chlore, comme l'acide chlorhydrique, qui provient de la dissociation du chlorure de magnésium, et qui ne demande qu'à attaquer le zinc.

Ces vapeurs, en se condensant, sont sujettes par conséquent à tomber dans le moût et à introduire dans la masse du chlorure de zinc, composé nuisible.

d) **Sels et oxyde de fer.** — Le fer, corps répandu dans la nature, se trouve dans les eaux en proportions variables.

Lorsque le fer est en petite quantité dans l'eau, elle peut servir à brasser; mais il est bien préférable qu'elle n'en contienne pas; car l'oxyde de fer forme avec la diastase un composé insoluble, qui nuit à la fabrication de la bière.

Dans le maltage, l'orge se colore en brun par les sels de fer.

La bière fabriquée avec des eaux ferrugineuses prend généralement une coloration verdâtre, qui est le résultat de la formation d'un tannate de fer noir, dont la couleur se mélange avec celle de la bière elle-même.

De plus, les eaux ferrugineuses peuvent procurer à la bière une odeur et un goût mauvais.

L'élimination du fer peut être obtenue en aérant convenablement l'eau, en la faisant tomber en cascade d'une hauteur de plusieurs mètres, puis en la filtrant sur du sable pour retenir le composé ferrique précipité.

Par précipitation des sels de fer solubles en oxyde de fer hydraté et séparation mécanique du précipité obtenu, on arrive à éliminer le fer, en pratiquant l'opération avec des dispositifs appropriés.

A l'Institut des Fermentations de Berlin, on emploie le procédé Œsterr, qui consiste à pratiquer l'oxydation par un courant d'air et à filtrer le précipité sur du gravier.

L'eau à épurer est envoyée par deux pompes qui la divisent finement, et l'oxydation du fer s'effectue; l'eau traverse le gravier, qui est disposé en couches de 30 centimètres de hauteur, sur des tamis en laiton.

A la sortie du filtre, l'eau épurée est envoyée dans un réservoir spécial.

Le système de MM. H. von der Linde et Hess, de séparation complète du fer des eaux, a donné d'excellents résultats à la brasserie de Schultheisz de Dessaux, résultats qui ont été relatés, en 1890, par le *Zeitschrift für Spiritus industrie.*

Ce procédé consiste à oxyder le fer en solution dans l'eau, non pas par l'oxygène atmosphérique, l'eau à épurer n'ayant

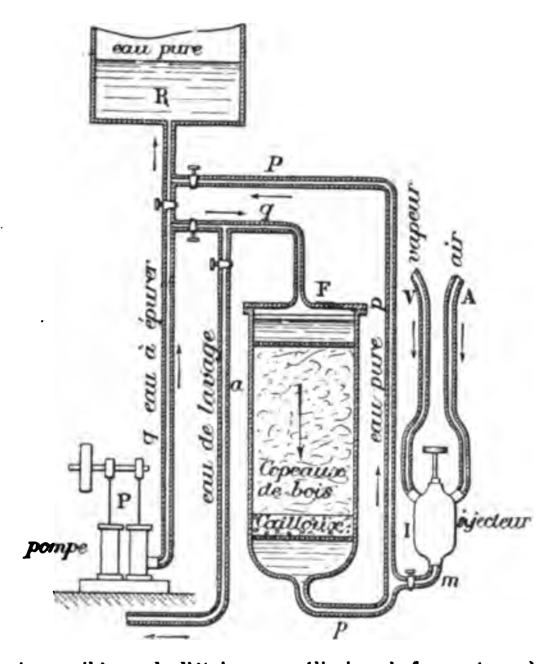


Fig. 67. — Appareil à oxyde d'étain, pour éliminer le fer contenu dans les eaux.

du reste aucun contact avec l'air extérieur, mais par de l'oxyde d'étain, réparti en grandes surfaces sur des copeaux de bois, grâce à sa propriété de servir de véhicule à l'oxygène de l'eau.

L'appareil se compose d'un filtre F en fer, ayant $2^m,50$ de haut sur $1^m,25$ de large, renfermant, à la base, une couche

de petits cailloux, reposant sur une toile de cuivre supportée par une grille en fer.

Cette couche de cailloux possède environ 10 centimètres de haut, et le reste du filtre contient des copeaux de bois, sur lesquels l'oxyde d'étain est réparti.

Les copeaux de bois sont eux-mêmes maintenus par une grille en fer et une toile en cuivre situés dans la partie supérieure du filtre.

L'eau à épurer est refoulée par un jeu de pompes P, par la partie supérieure du filtre F, suivant la direction *q*, et l'oxydation se produit par l'oxyde d'étain.

Dans cette oxydation, l'eau traverse les copeaux de bois, puis la couche de graviers, et abandonne dans cette filtration le fer précipité.

L'eau, dépourvue de fer et filtrée, remonte par le tuyau *p* dans le réservoir spécial R d'eau pure.

Le nettoyage des copeaux peut se faire, simplement, en ouvrant, chaque jour, le robinet du tuyau *p*, afin de permettre à l'eau pure de traverser le filtre et d'entraîner les matières bourbeuses ; l'eau de lavage sort alors par la partie supérieure du filtre F, traverse la conduite *q*, en sens inverse, et est évacuée par le conduit *a*, destiné spécialement aux eaux de lavages.

On peut encore opérer le nettoyage du filtre en envoyant de l'air et de la vapeur par un injecteur I.

Pour cela, on injecte, à deux reprises différentes, de l'air et de la vapeur, en même temps, puis on fait passer de l'eau pure, pendant quelques minutes.

En opérant ainsi, on arrive à un nettoyage rapide et très satisfaisant.

e) **Plomb.** — Les eaux qui contiennent du plomb doivent être impitoyablement rejetées.

La présence du plomb dans l'eau peut résulter de son séjour dans les conduits d'adduction en plomb, à la faveur des sels et des gaz qui sont contenus dans cette eau.

Des traces d'hydrogène sulfuré suffisent pour déceler le plomb par sa précipitation de sulfure de plomb noir ; ce précipité se transforme en sulfate de plomb blanc par une addition d'eau oxygénée.

f) **Carbonate de calcium et carbonate de magnésium.** — Dans la fabrication de la bière, l'examen préalable d'une eau au point de vue de sa dureté est d'une importance capitale.

Par dureté d'une eau, nous savons qu'on entend la proportion plus ou moins grande de sels de chaux et de magnésie qui y sont contenus.

Il vaut mieux employer, pour les usages de la brasserie, des eaux qui accusent une certaine dureté ; une eau qui marque de 10 à 25° hydrotimétriques, c'est-à-dire qui représente 0,10 à 0,25 de sels alcalino-terreux par litre est excellente.

Dans le maltage des orges, si l'eau est trop douce, elle enlève trop de substances utiles, et, si elle est trop dure, le trempage des orges subit un retard.

Les eaux contenant du carbonate de calcium en excès procurent au moût une coloration rouge intense, en agissant sur le malt et surtout sur le houblon, et de plus elles empêchent d'avoir une fermentation régulière.

Le carbonate de magnésium réduit l'activité de la diastase, la proportion de maltose et l'extrait ; au contraire, la proportion des corps azotés et de résine de houblon augmente ; quant à la bière, elle prend une coloration foncée et un goût âcre.

Il est très difficile de conserver la bière, lorsqu'elle a été fabriquée avec des eaux contenant trop de carbonates ; en effet, la bière doit sa propriété de conservation à son acidité, qui, dans ce cas, se trouve neutralisée par les sels calciques et magnésiens.

Les peptones et les amides, corps assimilables par la levure, qui résultent de la transformation des matières

azotées du malt, ne peuvent se produire favorablement, si le moût ne présente pas une réaction acide.

Les matières albuminoïdes qui restent alors dans le moût nuisent à la conservation de la bière.

L'acide phosphorique, qui est un élément nutritif important pour la levure, se trouvant neutraliser par le carbonate de chaux contenu dans l'eau, il se précipite du phosphate de calcium insoluble.

De même, avec l'ammoniaque, qui prend naissance pendant la fermentation, il se forme du phosphate ammoniaco-magnésien.

Plus les eaux sont dures, plus les proportions d'acide phosphorique et d'azote sont faibles.

Les eaux trop dures provoquent à la bière un goût amer et fort désagréable.

On peut débarrasser, au préalable, l'eau de son carbonate de calcium soluble, en faisant bouillir l'eau, pour en précipiter le carbonate de calcium; nous avons indiqué, dans le chapitre relatif au traitement des eaux par la vapeur, des appareils qui conviennent parfaitement dans ce cas.

Ajoutons qu'on peut se débarrasser du carbonate de calcium en le précipitant par un lait de chaux et le décantant ou le filtrant.

Comme nous l'avons fait remarquer, une petite quantité de carbonate de calcium est loin d'être nuisible; bien au contraire, nous avons vu que des eaux qui en contiennent modérément sont avantageuses; elles exercent dans ces conditions une action moins dissolvante que les eaux douces; elles régularisent la fermentation, facilitent la clarification et la conservation de la bière.

Dans les brasseries où le sucre est employé dans le brassage pour purifier le moût et obtenir la clarification de la bière, il est inutile d'en faire usage avec les eaux qui contiennent une proportion notable de carbonate de calcium.

Ainsi, à Canterbury et dans d'autres villes anglaises, on n'emploie pas de sucre dans les eaux calcaires.

Les eaux qui renferment du carbonate de calcium en dissolution, grâce à l'excès d'acide carbonique, précipitent par l'ébullition le carbonate de calcium, qui entraîne l'albumine du moût pendant la cuisson et rend alors toute addition de sucre inutile.

g) **Sulfate de calcium et sulfate de magnésium.** — Les eaux qui renferment une quantité notable de sulfate de magnésium diminuent l'extrait sans que la proportion de phosphates et de matières azotées ne soit abaissée ; il se forme beaucoup d'amyloïne, et la bière obtenue a un goût âcre.

Comparées aux eaux douces, les eaux qui renferment du sulfate de calcium sont bien préférables.

Ces eaux séléniteuses ont un grand avantage sur les eaux tenant du carbonate de calcium en solution, parce que le sulfate de calcium n'a pas la propriété de se précipiter aussi facilement que le carbonate de calcium.

Lorsque les eaux sont légèrement séléniteuses, elles neutralisent d'une façon insensible l'acidité du moût et de la bière, et la formation des amides et des peptones est facilitée pendant le brassage.

Si le moût est cuit avec des eaux légèrement séléniteuses, les matières albuminoïdes se coagulent facilement, et la bière se conserve bien; quant à la précipitation de l'acide phosphorique du moût, elle est presque la même qu'avec l'eau distillée.

D'après les expériences de MM. Moritz et Morris, il résulte qu'en faisant trois essais :

Le premier avec de l'eau distillée ;

Le deuxième avec de l'eau contenant $0^{gr},712$ de sulfate de calcium par litre ;

Le troisième avec de l'eau contenant $1^{gr},427$ de sulfate de calcium par litre.

Les quantités d'acide phosphorique qui restèrent dans 100 grammes de moût furent de $0^{gr},129$, $0^{gr},104$ et $0^{gr},089$.

En considérant ces chiffres, on constate que l'alimentation de la levure peut se faire dans de bonnes conditions.

Les bières fabriquées avec des eaux séléniteuses présentent des avantages incontestables sur les autres ; elles sont meilleures au goût, se conservent excessivement bien ; la proportion de résine de houblon dissoute est moins forte, et la coloration de la bière est plus pâle.

Avec ces eaux, les cellules de la levure de bière sont beaucoup plus vigoureuses qu'avec les eaux douces.

Pour toutes ces raisons, les fabriques anglaises ont vite acquis une réputation pour leur bière fabriquée avec de l'eau naturelle, de certaines régions, qui était séléniteuse.

Les brasseries qui ne sont pourvues que d'eau douce pratiquent maintenant le gypsage artificiel, opération qui a pour but de corriger l'eau par une addition de sulfate de calcium en proportion plus ou moins grande, suivant la nature de la bière que l'on veut obtenir.

Ainsi, en Angleterre, dans la fabrication de l'ale, on emploie des eaux gypseuses, comme celles de Burton ; pour le porter et le stout, les eaux douces sont préférables.

Les eaux séléniteuses sont employées de préférence dans la préparation des bières pâles et les eaux douces pour fabriquer les bières colorées.

§ 2. — QUELQUES EXPÉRIENCES ET CONSTATATIONS

M. Stauffer a constaté que les eaux qualifiées d'eau dure contiennent plus de 18 parties de sel de chaux et de magnésie dans 100.000 parties d'eau, c'est-à-dire 18° de dureté et que les eaux de diverses brasseries, qui sont très douces, fournissent d'excellents résultats pour la nature de la bière qu'on leur demande de fournir.

Dans 100.000 parties d'eau, il y a en sels de chaux et de magnésie :

Brasserie par action de Pilsen.	9,60	(Hajek).
Brasserie de Pilsen (vieille brasserie).	10,40	»
Brasserie de Pilsen (nouvelle brasserie) . . .	11,70	»
Eau d'Ansbach IV.	12,92	(Bauer).
— de Tuttlingen.	13,11	»
— de Dusseldorf.	13,72	(Busch).
— d'Ansbach II	14,32	(Bauer).
— d'Augsbourg.	15,42	(Rothe).
— de Cologne..	15,68	(Büsch).
— d'Ansbach III.	18,35	(Baüer).
Eau à brasser de la brasserie de Gôggingen..	19,81	»
Eau de Mayence	»	»
— de Munich (brasserie du Lion) II	20,44	(Büsch).
— — (brasserie Royale) I..	23,38	(Kradisch).
— — (brasserie du Lion) I.	28,67	»
— — (brasserie Royale) II	28,85	»
Eau de Kaltenhausen.	38,53	(Büsch).
— Klein Schwechat (Vienne)	38,53	(Lermer).
— Munich brasserie Spaten.	38,73	(Kradisch).
— Ansbach I.	94,69	(Baüer).

D'après ces exemples, une bonne eau pour le maltage doit avoir de 10 à 25° de dureté, sans avoir pour cela d'influences fâcheuses sur la qualité du malt, à la condition cependant de tenir compte de la nature de l'eau pour faire varier les conditions de trempage.

Le trempage est plus lent avec les eaux dures qu'avec l'eau distillée; les températures supérieures à 15° R. rendent le trempage trop rapide ; avec les températures peu élevées, le contraire se produit.

D'après les expériences d'Ullik, il résulte que les eaux douces enlèvent à l'orge, pendant son trempage, plus de substances minérales et organiques que les eaux dures.

Au point de vue des matières albuminoïdes, la proportion extraite par les eaux dures est plus grande qu'avec les eaux douces ; quant aux hydrates de carbone, ce sont les eaux douces qui en extraient le plus.

Eu égard à l'action des sels en solution dans l'eau de trempage, sur la faculté germinative de l'orge, le Dr Hanna-

mann a fait quelques essais avec des eaux de composition variable, qui lui ont fourni les résultats suivants :

EAU DE TREMPAGE ET SUBSTANCES Y AJOUTÉES	Durée du trempage en heures	NOMBRE DE GRAINS °/.			DÉSAGRÉGATION et qualité du malt vert
		germant tout à fait bien	germant faiblement	ne germant pas	
Eau distillée.	48	72	22	6	Très bonne
Eau de puits.	96	75	21	4	Très bonne
Solution de chlorure de sodium 0,5 0/0.	100	58	27	15	Inégale
Solution de chlorure de calcium à 0,5 0/0..	96	80	18	2	Egale
Solution de sulfate de calcium à 0,5 0/0	83	70	26	4	Belle
Solution de salpêtre du Chili à 0,5 0/0.	100	60	22	18	Inégale
Solution de phosphate de potasse à 0,5 0/0.	79	66	21	13	Inégale
Eau renfermant des matières organiques	74	80	15	5	Très bonne

M. G.-B. Readman a recueilli des observations précieuses sur les actions exercées sur la bière par des solutions salines.

Il a examiné ces effets dans le *Journal of the Society of chemical Industry*.

Ces observations ont porté sur 13 solutions :

1°. — De l'eau distillée. par hectolitre.
2°. — De l'eau distillée contenant 71gr,35 de carbonate de calcium.
3°. — — — — de chlorure de calcium.
4°. — — — — de sulfate de calcium.
5°. — — — — de carbonate de magnésium
6°. — — — — de chlorure de magnésium.
7°. — — — — de sulfate de magnésium.
8°. — — — — de chlorure de sodium.
9°. — — — — de carbonate de sodium.
10°. — — — — d'azotate de potassium.
11°. — De l'eau contenant les sels qui composent les eaux de Burton.
12°. — De l'eau d'Edimbourg.
13°. — De l'eau distillée contenant 71gr,35 de sulfate de potassium par hectolitre.

La solution n° 11, qui formait l'eau de Burton, avait la composition suivante :

	par impérial gallon
Sulfate de calcium.	70',99 grains.
Carbonate de calcium	9',04 —
Carbonate de magnésium	5',88 —
Sulfate de potassium.	0',96 —
Sulfate de sodium..	13',30 —
Chlorure de sodium	9',12 —
Oxyde ferrique.	1',12 —

On sait que le grain équivaut à $0^{gr},0647$ et l'impérial gallon à $4^{lit},543$.

L'analyse de la bière obtenue avec ces solutions salines, que nous indiquerons par leur numéro correspondant, a fourni les résultats suivants :

ANALYSE DE LA BIÈRE	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N°	N° 9	N° 10	N° 11	N° 12	N° 13
	POUR CENT												
Alcool	4,57	3,96	4,02	4,88	4,14	4,64	4,33	3,84	3,73	3,26	4,70	3,78	3,73
Extrait réel	5,15	4,25	6,10	5,00	7,44	5,12	6,07	6,15	5,72	0,29	5,49	5,67	7,055
Azote	0,098	0,084	0,101	0,112		0,095	0,101	0,100	0,067	0,090	0,112	0,084	0,087
Cendres	0,265	0,019	0,247	0,283	0,273	0,28	0,296	0,34	0,285	0,282	0,359	0,228	0,310
Chaux	0,007	0,013	0,021	0,018									
Magnésie					0,025	0,052	0,052				0,046		
Acide phosphorique	0,122	0,089	0,104	0,107	0,0101	0,104	0,113	0,590	0,093	0,118	0,092	0,094	0,097
Acidité en acide lactique	0,18	0,144	0,162	0,162	0,054	0,144	0,123	0,144	0,072	0,144	0,123	0,144	0,144
Silice		0,008		0,007	0,012	0,005	0,004		0,009	0,005	0,007	0,003	0,004
Poids spécifique à 60° F	1012°8	1009°5	1009°5	1011°9		1012°7	1017°5	1018°4		1019°7	1015°7	1015°9	1021°1
Extrait fermenté	45,5	42,5	41	47	44	46	42	38	39	33	44	39	35

Pour toutes ces solutions, la saccharification était complètement terminée en une heure, sauf cependant pour les essais avec du carbonate de sodium et du carbonate de magnésium.

Avec la solution de carbonate de magnésium, préparée avec l'eau distillée, la saccharification demanda deux heures; avec le carbonate de sodium, elle n'était pas encore terminée au bout de ce temps.

Les moûts préparés avec des eaux contenant du carbonate de sodium sont toujours colorés et possèdent une teinte rougeâtre.

Il résulte des expériences de Windisch qu'une trace de carbonate ou de sulfate de sodium en solution, en présence du carbonate de chaux, suffit, pour donner une coloration beaucoup plus accentuée qu'avec le carbonate de sodium seul, avec lequel il faut environ 15 grammes par hectolitre pour avoir une coloration sensible.

Toutes les solutions salines préparées par Readman donnèrent des moûts clairs, sauf cependant pour les deux essais faits avec le carbonate de magnésium et le carbonate de sodium.

L'ordre des colorations des bières obtenues peut se ranger ainsi, suivant leurs numéros correspondants :

1 13 7 4 6 12 11 10 3 8 2 5 9

Examinées au point de vue de l'odeur, la saveur et la conservation, les bières présentent les caractères suivants :

N° 1. — L'odeur de la bière est agréable; mais la saveur ne présente pas un caractère particulier;
N° 2. — La saveur est très amère et très piquante, avec un arrière-goût rude; quant à l'odeur, elle est plutôt forte ;
N° 3. — L'odeur est douce et agréable et la saveur parfaite;
N° 4. — Bière de goût pur;
N° 5. — Non dégusté;
N° 6. — Saveur particulière, forte et plutôt déplaisante;
N° 7. — Saveur médicinale, mais odeur agréable;

N° 8. — Mauvaise odeur, goût désagréable et bière très trouble;
N° 9. — Comme la bière, qui a fermenté imparfaitement, le goût est faible et déplaisant;
N° 10. — Odeur désagréable et goût déplaisant;
N° 11. — Bonne, arome agréable, bière de goût pur;
N° 12. — Saveur un peu déplaisante;
N° 13. — Bonne, mais saveur tout à fait faible.

Considérées au point de vue de l'atténuation, d'après les essais obtenus, les bières se rangent de la façon suivante :

N°s	SUBSTANCES			PERTE DE POIDS
4	Sulfate de calcium	48° F 1,059	72° F 1,012	47,0
6	Chlorure de magnésium	48° F 1,058	71° F 1,012	46,0
1	Eau distillée.	48° F 1,057	73° F 1,012	45,5
5	Carbonate de magnésium. . .	48° F 1,055	70° F 1,021	44,0
11	Eau de Burton	48° F 1,060	70° F 1,016	44,0
2	Carbonate de calcium	48° F 1,051	72° F 1,009	42,5
7	Sulfate de magnésium	48° F 1,058	71° F 1,016	42,0
3	Chlorure de calcium	48° F 1,057	72° F 1,016	41,0
9	Carbonate de sodium.	48° F 1,054	73° F 1,015	39,0
12	Eau d'Edimbourg.	48° F 1,054	72° F 1,015	39,0
8	Chlorure de sodium.	52° F 1,056	74° F 1,018	38,0
13	Sulfate de potassium	50° F 1,055	73° F 1,020	35,0
10	Azotate de potassium.	48° F 1,052	70° F 1,019	33,0

En les rangeant par ordre, les bières numérotées ont fourni les résultats consignés dans le tableau suivant :

N°	SUBSTANCES	POIDS SPÉCIFIQUE	ALCOOL °/°
4	Sulfate de calcium	1011,9	4,88
11	Eau de Burton.	1012,7	4,70
6	Chlorure de magnésium	1012,7	4,64
1	Eau distillée.	1012,8	4,57
7	Sulfate de magnésium	1017,5	4,33
5	Carbonate de magnésium . . .	pas déterminé	4,19
3	Chlorure de sodium.	1016,5	4,02
2	Carbonate de calcium.	1009,5	3,96
8	Chlorure de sodium.	1018,4	3,84
12	Eau d'Edimbourg.	1015,9	3,78
9	Carbonate de sodium.	pas déterminé	3,73
13	Sulfate de potassium	1021,1	3,73
10	Azotate de potassium.	1019,7	3,26

Non seulement les matières minérales et organiques peuvent être nuisibles dans la fabrication de la bière, mais encore les êtres organisés sont susceptibles de provoquer des effets fâcheux.

La bière acquiert un goût désagréable et subit des altérations qui empêchent sa conservation.

La première des précautions à prendre en brasserie est d'avoir des eaux excessivement propres et limpides et de ne les employer dans les récipients, les pompes et les différents ustensiles, qu'après les avoir parfaitement nettoyés.

Les eaux renferment des bactéries, en proportion plus ou moins grande, mais on ne doit pas trouver plus de 150 bactéries par centimètre cube, pour qu'à défaut d'autres une eau puisse, à la rigueur, être utilisée en brasserie.

On doit donc rechercher les eaux qui contiennent le moins possible de bactéries, et toute eau claire qui, au bout de quelques jours de repos, se trouble, doit être rejetée, car elle prouve qu'on est en présence d'une eau souillée de microorganismes, qui sont dans un bon milieu de culture et ne demandent qu'à se reproduire.

Toutes les bactéries n'occasionnent pas des accidents dans la fabrication de la bière : le ferment acétique (*Mycoderma aceti*) peut vivre dans le moût sans produire pour cela une altération.

L'acide lactique élaboré par le ferment lactique atténue généralement l'activité de la levure. Il est important d'exercer un contrôle sévère sur la pureté de la levure, car de l'irrégularité de son développement et de la présence des ferments de maladie, dus bien souvent aux eaux, dépendent un travail sûr et régulier de la fabrication de la bière.

On doit éviter de se servir d'eaux qui renferment particulièrement une bactérie de l'ordre supérieur, le *Renothrix* kulmiana, qui ressemble beaucoup aux algues, et qu'on appelle encore peste des eaux.

Cette bactérie se rencontre dans les eaux souillées de matières organiques et croupissantes.

En conformité des progrès de la science bactériologique, il est indispensable de faire un examen attentif sur la façon dont se comportent les bactéries, dans le moût et dans la bière ; savoir, par conséquent, si elles se développent dans le moût ou seulement dans la bière, ou encore dans les deux à la fois.

On doit étudier le développement, examiner sa rapidité, qualifier les bactéries, et en faire la numération à titre d'indication ; puis observer leur conséquence, c'est-à-dire relater les transformations qu'elles peuvent faire subir au moût et à la bière, eu égard au goût, à l'odeur, à la limpidité et à sa faculté de conservation.

C'est surtout dans le moût que les bactéries se développent ; mais, d'après Hansen, la majeure partie des bactéries de l'eau cessent de se développer, aussitôt qu'on introduit la levure dans le moût.

Les eaux impures, ainsi que les glaces, qui sont fabriquées avec ces eaux, renferment souvent une bactérie des plus dangereuses en brasserie la « sarcine », qu'on désigne souvent sous le nom de *Pediococcus cerevisiæ*.

Cette bactérie est excessivement petite, de dimensions bien inférieures à celles de la levure, et se présente sous forme de points isolés, *coccus*, ou de points doubles, *diplococcus;* elle provoque le trouble de la bière, lui donne un goût aigre et la rend acide.

En dehors de l'eau, on ne doit pas oublier que l'air est souvent souillé de microorganismes, lorsque les brasseries sont situées dans le voisinage de fumiers de ferme.

La sarcine se développe particulièrement dans les bières à forte atténuation. On y remédie en ajoutant, suivant les conseils de M. H. Vogel, 2 à 3 litres d'écume jeune pour 10 hectolitres de bière, et cette addition doit se faire au moment même où l'on va bondonner les foudres.

Lorsqu'on désire obtenir de la bière au goût amer, on peut remédier, dans une certaine limite, au développement de la sarcine, en ajoutant une trentaine de grammes de houblon par hectolitre, car le houblon est doué de propriétés antiseptiques contre la sarcine.

Les eaux qui contiennent le champignon connue sous le nom de *Beggiatoa alba* sentent le plus souvent l'odeur caractéristique de l'hydrogène sulfuré; elles deviennent alors impropres aux brasseries.

Il est donc indispensable de se préserver non seulement des matières organiques de l'eau, mais encore des microorganismes, en effectuant convenablement une filtration préalable ou mieux une stérilisation appropriée.

CHAPITRE XIV

DE L'EAU EN DISTILLERIE

En distillerie, l'eau agit particulièrement dans la fabrication ; le travail au malt se trouve parfois même complètement entravé par la nature de l'eau ; c'est ce qui arrive lorsqu'elle est souillée de matières organiques qui provoquent la fermentation putride des grains en les rendant impropres au maltage.

L'hydrogène sulfuré exerce une action tout à fait nuisible, et quelquefois, sans que sa présence soit révélée dans l'eau avant le trempage, on le constate après, par suite de réduction des sulfates, en particulier celui de calcium, par les matières organiques et le concours d'influences physiques.

Les sels de fer jouent aussi leur rôle néfaste, en retardant la germination.

Dans le chapitre relatif à la brasserie, à propos de l'opération du maltage, les effets produits par l'eau suivant sa nature, sa composition, autrement dit suivant les corps qu'elle renferme, ont été examinés et s'appliquent aussi à la préparation du malt en distillerie.

On doit observer que le malt de distillerie, contrairement à celui de brasserie, doit posséder une grande puissance diastasique ; en conséquence la plumule exige un développement plus grand ; généralement on lui fait atteindre la longueur du grain.

En opérant ainsi, d'après M. Kusserow, le malt donne un moût riche en phosphate soluble, corps nutritif pour la levure, qui en augmente beaucoup la vigueur.

Il résulte que les effets produits sur le maltage en brasserie sont encore amplifiés en distillerie; c'est pourquoi la composition des eaux doit être examinée attentivement.

L'oxyde de fer nuit à l'activité de la diastase du malt, en formant un composé insoluble; le carbonate de magnésium est aussi nuisible à l'amylase.

L'apport par le malt des germes les plus variés; ferments lactiques, butyriques, etc., contrarient considérablement la fermentation, au détriment du rendement alcoolique et de la rapidité du travail.

La reproduction de la levure se ralentit, par la présence des acides acétique et lactique; ce dernier atténue fortement l'activité de la levure dans sa fonction alcoolique.

Dans le travail à l'acide, bien que l'acide chlorhydrique agisse comme antiseptique, vis-à-vis de certains ferments nuisibles, les eaux employées dans la fabrication qui les contiennent sont cependant à craindre.

Par la présence du chlorure de calcium dans l'eau, la levure est gênée dans sa reproduction, et son action est aussi atténuée par le sel marin.

Les sels de cuivre empêchent la reproduction de la levure, lorsqu'ils sont en proportion notable; quelquefois même on peut constater la présence du cuivre dans le moût sans que l'eau employée n'en contienne.

Ceci résulte du traitement à l'acide dans les cuiseurs en cuivre, où le métal, se trouvant attaqué et dissous sous forme de sel métallique; pour remédier à cet inconvénient, certains constructeurs étament l'intérieur de leur cuiseur avec de l'étain fin.

Avec les eaux séléniteuses, on obtient, au contraire, des cellules de levure bien plus vigoureuses.

Dans le procédé aseptique, à l'*Amylomyces Rouxii*, établi d'après les recherches du D[r] Calmette, directeur de l'Institut Pasteur de Lille, poursuivies par MM. Collette, Boidin et Mousain, procédé qui ouvre une ère nouvelle, celle de l'application directe et intégrale du Laboratoire scientifique

à l'Industrie, on opère dans un milieu voisin de la neutralité pour que la diastase de l'*Amylomyces* puisse exercer le plus possible sa puissance saccharifiante.

En considérant la modification, des plus avantageuses apportée par MM. Mousain et Boidin dans la substitution du *Koji*, *mucor* β, à l'*Amylomyces Rouxii*, l'acidité observée varie, en général, entre $0^{gr},3$ à $0^{gr},4$ par litre de moût à la fermeture de la cuve ; aussi, suivant que les eaux contiennent plus ou moins de sels calciques ou magnésiens, on est obligé de forcer la dose d'acides chlorhydrique et sulfurique à ajouter.

Pour une cuve de contenance de 1.112 hectolitres, chargée à 19.200 kilogrammes de grains formant un volume d'environ 1.000 hectolitres de moût, on introduit, avec une eau normale, 5 litres d'acide sulfurique et 15 kilogrammes d'acide chlorhydrique dans la cuve-matière ; puis, après passage avec le moût au stérilisateur, on envoie le tout dans la cuve.

Certaines rivières recevant des eaux résiduaires d'industries, comme celles des papeteries, sont très alcalines, à un tel point que par la neutralisation de cette alcalinité on forme une grande quantité de sels correspondants solubles, qui se retrouvent dans la cuve et peuvent entraver l'action du *koji*.

Il est à remarquer que le *koji* est gêné dans sa multiplication et la saccharification de l'amidon par sa diastase, analogue à l'amylase du malt, suivant que l'eau renferme plus ou moins de sels de fer.

De plus, on doit donc éviter, autant que possible, l'introduction des sels ferriques, par une attaque des parois en fer des récipients contenant les premières portions du moût acidifié.

Tant dans le travail préliminaire au laboratoire qu'à l'application à la cuve industrielle, les moûts employés exigent une stérilisation irréprochable.

Dans le procédé à l'*Amylomyces*, on fait une addition de

2 à 3 0/0 de malt dans la cuve-matière, afin de solubiliser une partie de l'amidon et faciliter, dans la suite, le travail du *koji*, qui, dans ces conditions, peut fournir 5 0/0 en plus pour le rendement alcoolique final que par le procédé à l'acide.

La préparation du malt, dans le procédé à l'*Amylomyces*, demande donc les mêmes précautions à prendre, et elle est en butte, par conséquent, aux mêmes inconvénients que ceux qui se font sentir, dans tout maltage, dans le travail habituel en distillerie.

L'action des eaux chargées de sels calciques est sensiblement appréciable dans la cuisson des grains qu'elle entrave par les combinaisons des sels alcalino-terreux formés.

Si l'on considère la cuverie, lorsqu'on effectue la réfrigération avec des eaux chargées de sels calcaires ou magnésiens, il se forme un dépôt de sels alcalino-terreux sur les parois, qui retarde beaucoup le refroidissement des cuves.

Il est bon de surveiller ces dépôts et de les enlever avec des brosses dures, et, au besoin, s'ils offrent une certaine difficulté dans leur élimination, de les frotter avec une brosse, passée dans une eau légèrement acidulée par de l'acide chlorhydrique.

Dans la distillation et la rectification, l'eau servant à la réfrigération doit contenir le moins possible de sels calciques et magnésiens; car, par leur dépôt, mauvais conducteur de la chaleur, ils empêchent le refroidissement de se poursuivre normalement et peuvent provoquer l'obtention de produits de nature et qualité irrégulières.

Pour ce qui se rapporte aux appareils producteurs de vapeur et aux dépôts obtenus, leurs effets et leurs remèdes, cette question a été examinée dans le chapitre relatif aux *générateurs*.

Les distillateurs cèdent souvent, en même temps qu'ils vendent leur alcool, de l'eau distillée pour faire les coupages, les eaux contenant des sels alcalino-terreux produisant un précipité qui trouble l'alcool.

Cette eau, livrée par certains distillateurs, est défectueuse; il faut se garder surtout de prendre de l'eau provenant de la condensation des organes de la machine, car elle renferme souvent, par entraînement, des corps gras décomposés ou dissociés, ce qui altère le goût obtenu par les coupages de l'alcool.

Cette question de l'eau distillée a son importance, et pourtant elle est souvent négligée par l'industriel, qui quelquefois coupe ses alcools avec de l'eau à lui vendue sous le nom d'eau distillée, et contenant des corps divers provenant parfois de la dissociation des substances, qui étaient primitivement contenues dans cette eau.

C'est ainsi qu'on rencontre des eaux renfermant de l'acide chlorhydrique, de l'ammoniaque ou même du chlorure d'ammonium.

L'alambic spécial d'Egrot, que nous décrivons, à propos de la pureté de l'eau en analyse, peut convenir pour les coupages en distillerie.

TROISIÈME PARTIE

TRAITEMENTS PRÉALABLES ET APPAREILS SERVANT A CES TRAITEMENTS

Toute substance chimique, susceptible de supprimer l'effet nuisible de certains sels, en dissolution dans l'eau, par leur élimination ou leur transformation en d'autres, sans introduire dans la masse aqueuse, directement ou indirectement, d'autres matières pouvant entraîner des actions nuisibles, est propre à l'épuration des eaux.

Bien souvent, pour supprimer l'effet de certains sels dans une industrie, on introduit, au préalable, dans cette eau une substance chimique, qui amène bien la suppression de cet effet, mais qui en entraîne d'autres, souvent bien plus nuisibles aux intérêts industriels.

Il est donc de première nécessité de se rendre compte, lorsqu'on procède à l'épuration préalable des eaux, non seulement de l'effet primordial produit, mais encore de toutes les transformations secondaires.

Souvent l'introduction de sels, pris isolément dans la masse aqueuse, n'a aucune influence fâcheuse dans l'industrie considérée ; mais la mise en jeu de plusieurs de ces sels amène bien des actions regrettables pour cette industrie.

Ce sont ces réactions qui, la plupart du temps, passent inaperçues et sont négligées, qu'il faut prévoir, suivre et en tirer les déductions qui leur sont propres.

Un examen attentif de l'eau, cause d'un grand nombre d'accidents dans les industries, permet de supprimer ces accidents; mais il faut que cet examen soit porté au fond, et ce n'est que dans ce cas que les substances chimiques employées comme remèdes peuvent avoir une efficacité réelle.

A propos de l'épuration chimique postérieure des eaux d'alimentation des générateurs de vapeur, nous avons examiné l'emploi de certaines substances et oxydes alcalins et alcalino-terreux, tels que la soude, la potasse et la baryte; les carbonates de sodium et de potassium, le chlorure de baryum et l'aluminate de baryum.

Ces sels peuvent être encore employés dans l'épuration chimique préalable des eaux dans l'industrie, et une grande partie de ce que nous avons dit précédemment s'applique encore ici.

Néanmoins nous allons étudier l'emploi de ces sels, en nous arrêtant spécialement sur ceux qui jouissent surtout, à tort ou à raison, d'un certain crédit.

Nous commencerons d'abord par les oxydes des métaux alcalino-terreux, c'est-à-dire la chaux, la magnésie et la baryte; puis nous continuerons cette étude par les carbonates alcalins et les oxydes des métaux alcalins.

Ensuite nous traiterons la question de la précipitation des corps en suspension dans l'eau.

L'importance de l'épuration chimique préalable a suscité, de la part de l'esprit inventif des constructeurs, de nombreux appareils spéciaux, facilitant beaucoup la réalisation du problème de l'épuration des eaux.

En conséquence nous examinerons le fonctionnement des principaux types d'épurateurs en usage dans un paragraphe spécial.

Enfin la filtration des eaux et des précipités obtenus par l'épuration sera envisagée au point de vue industriel, en étudiant les types les plus importants.

CHAPITRE I

CORPS SERVANT A L'ÉPURATION CHIMIQUE PRÉALABLE

---

a) **Épuration par la chaux.** — Le carbonate de calcium étant en solution dans l'eau, grâce à l'acide carbonique en excès; en saturant cet acide carbonique par la chaux, on entraîne la précipitation du carbonate neutre de calcium; tel est le principe sur lequel repose la méthode de Clark.

Ce principe est encore appliqué aujourd'hui, et sur cette méthode sont venues se greffer quelques modifications, à vrai dire, avantageuses.

L'action de la chaux sur le carbonate de calcium, en solution dans l'eau, peut se traduire par la réàction :

$$Co^3CaCo^2 + Ca(OH)^2 = 2Co^3Ca + H^2O.$$

Ceci suppose une eau seulement calcaire, c'est-à-dire tenant du carbonate de calcium en solution; dans ce cas, le carbonate de chaux est précipité.

On a donc qu'à faire cette épuration préalable de l'eau dans un réservoir ou appareil spécial.

La précipitation du carbonate neutre de chaux est fort longue, si l'on introduit juste la quantité de chaux nécessaire.

Pour obtenir une séparation rapide du précipité, on introduit toute la chaux nécessaire pour épurer la totalité de l'eau au 3/4 de cette eau; puis, après avoir agité convenablement, on ajoute le reste de l'eau à épurer.

De cette façon, l'épuration se fait bien, et il faut environ huit heures pour qu'elle soit terminée.

Cette manière de procéder a l'avantage de ne pas introduire des quantités considérables et exagérées de chaux dans l'eau qui la rend souvent plus nuisible encore que le carbonate de chaux dont on veut se débarrasser.

A cet effet, certains industriels se servent d'eau de chaux; ils en connaissent suffisamment la teneur; pour épurer dans des conditions connues, et pour faciliter la précipitation, ils adjoignent des appareils et dispositifs spéciaux que nous aurons l'occasion d'examiner dans un autre chapitre.

Une série de réservoirs servant à faire l'introduction du réactif et à décanter le liquide à épurer, qui passe finalement à travers des matières filtrantes, est souvent utilisée dans l'épuration à la chaux.

Mais cette épuration n'élimine que les carbonates alcalino-terreux de calcium ou de magnésium; quant aux autres sels solubles, qui se trouvent aussi le plus souvent dans les eaux, et qui peuvent produire des désordres dans l'industrie, comme les sulfates de calcium, de magnésium ou chlorure de calcium, ils ne sont pas éliminés par la chaux.

C'est pour remédier à cet état de chose que l'on a cherché à employer d'autres substances chimiques, que l'on coordonne avec la chaux pour éliminer les sulfates alcalino-terreux.

Pour atteindre ce but, on se sert de carbonates alcalins, des oxydes alcalins de soude et de potasse, de la baryte et des sels de baryte, qui réagissent sur le sulfate de calcium en solution dans l'eau par précipitation.

On coordonne, le plus souvent, avec l'épuration à la chaux, celle : par la soude ou la potasse, par le carbonate de soude ou de potasse et le chlorure de baryum.

b) **Épuration par la soude ou la potasse et chaux.** — Nous avons vu que la chaux éliminait les carbonates alcalino-terreux par précipitation.

En ajoutant de la soude ou de la potasse au lait ou à l'eau de chaux, pour épurer l'eau, on élimine les sulfates alcalino-terreux de calcium ou de magnésium et le chlorure de calcium, suivant les réactions.

$$2Co^3CaCo^2 + So^4Ca + CaCl^2 + 2NaOH + Ca(OH)^2 = 3Co^3Ca + 2H^2O + So^4Ca + CaCl^2 + Co^3Na^2.$$

Il y a production de carbonate de sodium soluble, qui réagit à son tour sur les sulfates de calcium ou de magnésium et sur le chlorure de calcium :

$$2Co^3Na^2 + So^4Ca + CaCl^2 = 2Co^3Ca + So^4Na^2 + 2NaCl;$$

finalement, il reste en solution dans l'eau du chlorure de sodium et du sulfate de sodium, qui ne sont généralement pas nuisibles aux eaux employées dans l'industrie.

L'épuration des eaux, combinée à la chaux et à la soude, est donc une des meilleures; car non seulement elle élimine les sels nuisibles, mais encore elle se fait sans introduction de substances chimiques, qui viennent par des transformations gêner la plupart des applications industrielles de l'eau.

Aussi cette méthode jouit-elle d'un certain privilège près des constructeurs d'appareils spéciaux, comme MM. Béranger et Stingl, Gaillet et Huet, Desrumaux et Dervaux, qui la préconisent.

Il est bon de noter que les réactifs soude et potasse doivent être dosés rigoureusement et que l'eau épurée ne doit pas présenter d'alcalinité, sous peine de produire des accidents dans son emploi.

Ainsi : des corrosions des organes métalliques, s'il y a excès de chaux, de soude ou potasse; si l'on a seulement un excès de chaux, l'eau entraîne dans les lavages et savonnages un surcroît de dépense de savon et de produits chimiques employés dans ces industries spéciales.

c) **Epuration par les carbonates alcalins et la**

chaux. — On remplace quelquefois, dans l'épuration à la chaux combinée, la soude par le carbonate de soude, qui coûte moins cher.

Souvent l'industriel mélange ensemble les deux réactifs, hydrate de chaux et carbonate de sodium, en ayant soin de mettre un excès d'hydrate de chaux.

Dans ce cas, il se produit une carbonatation de la chaux par le carbonate de soude; mais il est plus rationnel, si l'on veut obtenir les résultats propres à chacun de ces réactifs, sans qu'ils soient sujets à des transformations avant leur mise en œuvre, de faire l'épuration première à la chaux et de précipiter ensuite, dans un autre réservoir, les sulfates alcalino-terreux par le carbonate de soude.

Nous devons ajouter qu'en mélangeant le carbonate de soude et la chaux on provoque la précipitation de carbonate de chaux et la formation de soude caustique; on peut décanter et obtenir seulement, en solution, de la soude et de la chaux, ce qui revient à épurer l'eau, comme dans le cas précédent.

Au lieu de la soude et du carbonate de soude, on emploie encore le chlorure de baryum; dans ce cas, on élimine les sulfates de calcium et de magnésium par le chlorure de baryum, et l'on précipite les carbonates par la chaux.

d) **Epuration par la magnésie.** — Depuis quelques années on emploie beaucoup la magnésie, préconisée par Bohlig, Heyne et de Derschau.

Cette méthode repose sur la précipitation des bicarbonates alcalino-terreux par la magnésie, qui les transforment en carbonate neutre, avec production de carbonate de magnésie.

Ainsi, pour le bicarbonate calcique, on a la réaction :

$$Co^3CaCo^2 + MgO = Co^3Ca + Co^3Mg.$$

Pour le bicarbonate de magnésie, il se forme seulement

du carbonate neutre de magnésium :

$$Co^3MgCo^2 + MgO = 2Co^3Mg;$$

la précipitation de ce carbonate neutre de magnésium se fait à chaud, vers 45°.

Le carbonate neutre de magnésie, formé, réagit à son tour sur le sulfate de calcium, en solution dans l'eau, et le précipite à l'état de carbonate neutre de calcium :

$$Co^3Mg + So^4Ca = Co^3Ca + So^4Mg.$$

Par l'épuration à la magnésie, on voit, d'après ces réactions, que le sulfate de chaux n'est précipité que par la formation du carbonate de magnésium et que le sulfate de magnésium reste en solution dans l'eau.

Nous voyons donc que la précipitation du sulfate de calcium est subordonnée à la formation de carbonate de magnésium ; il y a par conséquent une limite, à cette précipitation, qu'il faut déterminer, et, pour cela, il s'agit d'examiner les conditions de la formation de ce carbonate neutre de magnésium.

Plusieurs cas peuvent se présenter suivant la composition de l'eau.

α. L'eau contient du bicarbonate de chaux et du sulfate de chaux.

β. L'eau contient du bicarbonate de chaux, du bicarbonate de magnésie et du sulfate de chaux.

α. La précipitation du sulfate de chaux ne se produit d'une façon complète que si le sulfate de chaux contenu dans l'eau est en excès sur le bicarbonate de calcium.

En effet d'après la réaction :

$$(n-1)MgO + (n-1)Co^3CaCo^2 = (n-1)Co^3Ca + (n-1)Co^3Mg,$$

et la réaction secondaire :

$$(n-1)Co^3Mg + nSo^4Ca = (n-1)Co^3Ca + (n-1)So^4Mg + So^4Ca,$$

on voit : que la précipitation est complète pour les $n - 1$ molécules de bicarbonate calcique, mais que les molécules

de sulfate de calcium sont incomplètement précipitées et qu'il reste encore dans l'eau une molécule libre de sulfate de calcium.

Pour précipiter ce sulfate de calcium restant, il faudra introduire non pas de la magnésie, mais du carbonate de magnésium :

$$So^4Ca + Co^3Mg = So^4Mg + Co^3Ca.$$

Calculons maintenant entre quelles limites doit être compris le sulfate de calcium, par rapport au bicarbonate calcique contenu dans l'eau, pour épurer seulement avec de la magnésie, sans être obligé de se servir d'une autre substance, telle que le carbonate de magnésium, pour précipiter le sulfate de calcium restant.

D'après ce qui précède, une molécule de magnésie précipite exactement une molécule de carbonate neutre de magnésium, qui précipite, à son tour, une molécule de sulfate de calcium.

Tout se passant de molécule à molécule, on calculera alors le poids moléculaire du sulfate de calcium et du carbonate de calcium ($So^4Ca = 136$ et $Co^3Ca = 100$).

Il résulte des réactions précédentes qu'on pourra épurer l'eau d'une façon complète, avec la magnésie seulement, lorsque le rapport des quantités de sulfate de calcium à celles du carbonate de calcium, contenu dans l'eau, fournies par l'analyse hydrotimétrique de cette eau, sera plus petit que le rapport de leurs poids moléculaires $\frac{136}{100} = 1,36$.

Si, au contraire, le rapport des quantités de sulfate de calcium à celles du carbonate de calcium contenues dans l'eau à épurer est plus grand que le rapport des poids moléculaires 1,36, il faudra ajouter une autre substance, telle que du carbonate de magnésium, en quantité qu'il sera facile de calculer d'après la réaction :

$$So^4Ca + Co^3Mg = Co^3Ca + So^4Mg,$$

c'est-à-dire que, pour une molécule de sulfate de calcium à précipiter, il faudra ajouter une molécule de carbonate de magnésium.

Pour calculer la quantité de carbonate de magnésium à ajouter, il faut d'abord connaître la quantité de sulfate de calcium qu'est susceptible de précipiter le carbonate formé.

Si P est le poids de carbonate de calcium contenu dans l'eau, $P \times 1,36$ sera le poids de sulfate de calcium, contenu dans l'eau, précipité.

Si l'on désigne par Q le poids total du sulfate de calcium, il restera donc encore à précipiter un poids $Q - P \times 1,36$ de sulfate de calcium.

Pour précipiter ce poids $Q - P \times 1,36$ de sulfate de calcium, le nombre 0,617 étant le multiplicateur du carbonate de magnésium, il suffira de remplacer les lettres par leur valeur dans la formule suivante :

$$(Q - 1,36)\,0,617,$$

qui indique la quantité de carbonate de magnésium à ajouter pour avoir une épuration complète.

β. Si l'eau contient du carbonate de magnésium, d'après la réaction :

$$Co^3MgCo^2 + MgO = 2Co^3Mg,$$

la précipitation d'une molécule de carbonate neutre de magnésium en solution dans l'eau entraîne la formation de 2 molécules de carbonate neutre de magnésium, qui précipitent 2 molécules de sulfate de calcium.

La métallurgie du fer consomme une grande quantité de magnésie pour la déphosphoration, ce qui permet d'avoir ce produit à des prix raisonnables et pour obtenir la magnésie à bon compte. M. Closson a proposé de l'extraire de la dolomie.

Cependant l'épuration à la magnésie demande le plus

grand soin, à cause des réactions secondaires qui interviennent, mais dont on ne se rend pas assez compte et qui déterminent bien souvent des accidents dans l'industrie.

Nous verrons plus loin que, sous son apparence d'inertie, le sulfate de magnésium est un corps dangereux pour les générateurs de vapeur, qu'il peut entraîner des corrosions par suite de réactions complexes; tenant compte de cette observation, nous remarquerons que l'épuration à la magnésie est une production constante de sulfate de magnésium.

Il ne faut pas oublier non plus qu'en dehors du chlorure de magnésium, corps extrêmement instable et des plus nuisibles, qui peut se former avec les chlorures contenus dans l'eau, on est exposé à avoir des entraînements de réactif magnésien, ou des transformations possibles en hydrate de magnésie, à la suite de certaines réactions, qui sont des plus nuisibles aux générateurs de vapeur comme corrosif.

De plus, l'action de la magnésie sur les savons, par la formation de combinaisons magnésiennes, empêche souvent son emploi dans les industries où l'on fait usage de savons.

e) **Epuration par le carbonate de soude.** — En employant le carbonate de soude, on obtient d'abord, avec le bicarbonate de chaux de l'eau, un précipité de carbonate neutre de calcium avec formation de sesquicarbonate de sodium soluble :

$$Co^3CaCo^2 + 2Co^3Na^2 + H^2O = (Co^3)^3Na^4H^2 + Co^3Ca.$$

Ce sesquicarbonate de sodium se décompose à son tour en bicarbonate de sodium et en carbonate neutre de sodium :

$$(Co^3)^3Na^4H^2 = 2Co^3NaH + Co^3Na^2.$$

On voit, d'après cette réaction, que l'on obtient 2 molécules de bicarbonate de sodium, qui n'interviendront pas dans les réactions postérieures.

Il y a donc avantage à transformer le bicarbonate en

carbonate neutre de sodium; pour cela, il suffit de chauffer l'eau vers 70° pour faire dégager 1 molécule d'acide carbonique.

Il en résulte que l'introduction de 2 molécules de carbonate de sodium, en agissant sur une eau ne contenant que du carbonate de calcium en solution, redonne, après la précipitation du carbonate de calcium, ces 2 molécules de carbonate neutre de sodium.

Ce carbonate de sodium formé réagit à son tour sur le sulfate de calcium et le précipite à l'état de carbonate neutre de calcium :

$$So^4Ca + Co^3Na^2 = Co^3Ca + So^4Na^2.$$

Il reste du sulfate de sodium en solution, corps généralement sans inconvénient dans l'industrie.

Ajoutons que l'action du carbonate neutre de sodium se fait sentir aussi sur le sulfate de magnésium et précipite la magnésie en carbonate de magnésium :

$$So^4Mg + Co^3Na^2 = Co^3Mg + So^4Na^2.$$

Il en est de même avec les chlorures de calcium et de magnésium :

$$CaCl^2 + MgCl^2 + 2Co^3Na^2 = Co^3Ca + Co^3Mg + 4NaCl,$$

qui laissent en solution du chlorure de sodium.

Si l'eau ne contient que du carbonate de calcium, la précipitation se fait très facilement avec le carbonate de sodium, même à froid.

Si l'eau contient du sulfate de calcium, en même temps; pour que l'épuration soit économique, il faut que le sulfate de calcium ne soit pas en excès sur le carbonate de calcium contenu dans l'eau. Dans ce cas, on a besoin que de calculer la quantité de carbonate de sodium nécessaire pour précipiter du carbonate de calcium.

D'après des considérations analogues à l'épuration à la magnésie, tant que le rapport des quantités $\frac{So^4Ca}{Co^3Ca}$ fourni par l'analyse sera plus petit que 1,36, on n'aura pas besoin d'ajouter du carbonate de sodium.

Si le rapport $\frac{So^4Ca}{Co^3Ca}$ est > 1,36, il faudra ajouter du carbonate de sodium.

Si 0,779 est le multiplicateur du carbonate de sodium, P le poids du carbonate de sodium, contenu dans l'eau, fourni par l'essai hydrotimétrique, et Q le poids total du sulfate de calcium, la quantité de carbonate de sodium, à ajouter à la quantité primitive, pour précipiter tout le sulfate de calcium contenu dans l'eau, sera donnée par la formule :

$$(Q - 1{,}36\ P)\ 0{,}779.$$

Dans la pratique, on forcera un peu la dose.

Certaines industries ne craignent pas l'introduction d'un excès de carbonate de sodium, comme dans celles pratiquant le savonnage; mais, dans d'autres, on devra procéder à un dosage rigoureux du carbonate de sodium, qui, en excès, peut produire la corrosion des organes métalliques divers, et en particulier les tôles des générateurs de vapeur.

f) **Epuration par l'oxyde et les sels de baryum.** — Par la baryte, on précipite à la fois le carbonate et le sulfate de calcium en solution dans l'eau :

$$Co^3CaCo^2 + Ba(OH)^2 = Co^3Ba + Co^3Ca + H^2O\ ;$$

on obtient du carbonate de baryum, qui peut réagir, à son tour, sur le sulfate de calcium contenu dans l'eau :

$$Co^3Ba + So^4Ca = So^4Ba + Co^3Ca.$$

Si ces deux équations se produisent seules, le carbonate

de calcium et le sulfate de baryum étant précipités et éliminés, l'eau est alors bonne pour l'industrie.

Une autre réaction peut avoir lieu, par la baryte, directement sur le sulfate de calcium, et, dans ce cas, il y a formation de chaux caustique :

$$So^4Ca + Ba(OH)^2 = So^4Ba + Ca(OH)^2 ;$$

cette chaux caustique, étant soluble, reste en grande partie en solution, et peut causer des désordres dans l'industrie, corrosion des parties métalliques des générateurs et formation de savons calcaires dans les industries où l'on se sert de savon.

Pour éviter cet inconvénient, on précipite le sulfate de calcium par le chlorure de baryum; il y a précipitation de sulfate de baryum, et il reste du chlorure de calcium :

$$So^4Ca + BaCl^2 = So^4Ba + CaCl^2,$$

Ce chlorure de calcium est encore nuisible aux générateurs de vapeur, et, dans les industries, où on fait usage de savon, on a une dépense exagérée par la formation de combinaisons calcaires insolubles avec le savon.

Ajoutons que le carbonate de baryum est encore utilisé pour épurer l'eau, ainsi que l'oxalate de baryum et l'aluminate de baryum.

g) **Epurations par les oxalates alcalins.** — On précipite par les oxalates alcalins le carbonate et le sulfate de calcium :

$$2\begin{bmatrix} CoONa \\ | \\ CoONa \end{bmatrix} + Co^2CaCo^2 + So^4Ca = 2\begin{bmatrix} CoO \\ | \\ CoO \end{bmatrix}\!\!>Ca + Co^3Na^2 + So^4Na^2 + Co^2.$$

L'avantage de ce procédé est d'obtenir du carbonate de sodium, qui peut réagir, à son tour, sur les sels de calcium, d'après les équations que nous avons examinées, à propos du carbonate de sodium.

D'autre part, l'oxalate de calcium, qui précipite, peut être régénéré facilement en introduisant dans une solution de carbonate de sodium porté à l'ébullition, et la réaction de régénération est alors :

$$2\left[\begin{matrix}CoO\\|\\CoO\end{matrix}\!>Ca\right] + 2Co^3Na^2 = 2\left[\begin{matrix}CoONa\\|\\CoONa\end{matrix}\right] + 2Co^3Ca.$$

Si la régénération de l'oxalate alcalin est faite convenablement, en tenant compte de l'économie apportée dans l'épuration par la formation du carbonate de sodium et en calculant convenablement les doses d'oxalate alcalin à employer pour la précipitation, ce procédé devient industriel et économique.

Quant à l'emploi de l'oxalate de baryum, il peut être employé aussi comme les oxalates alcalins.

h) **Épuration par l'aluminate de baryum.** — Par l'aluminate de baryum, on peut précipiter à la fois le carbonate et le sulfate de calcium.

Avec le bicarbonate calcique en solution dans l'eau, on a la réaction :

$$Al^2O^4Ba + Co^3CaCo^2 + H^2O = Co^3Ca + Co^3Ba + Al^2(OH)^2.$$

Bien qu'une action chimique secondaire n'intervienne pas, comme dans le cas de l'aluminate de sodium, qui fournit, par réaction, du carbonate de soude, le carbonate de baryum n'exercera pas moins en partie son action sur le sulfate de calcium, pour le précipiter à l'état de sulfate de baryum :

$$So^4Ca + Co^3Ba = So^4Ba + Co^3Ca.$$

Pour précipiter le sulfate de calcium restant dans l'eau, on fera une addition d'aluminate de baryum qui le précipite, lui aussi, sous forme de sulfate de baryum :

$$Al^2O^4Ba + So^4Ca = So^4Ba + Al^2O^4Ca ;$$

on obtient aussi de l'aluminate de calcium, puisqu'on n'est pas en solution acide.

i) **Epuration par les acides.** — Par les acides, et en particulier l'acide chlorhydrique, on transforme les carbonates alcalino-terreux en chlorures solubles, sans action énergique sur le sulfate de calcium.

Avec le bicarbonate, on a :

$$Co^3CaCo^2 + 2HCl = CaCl^2 + 2Co^2H^2O,$$

c'est-à-dire qu'on obtient des chlorures alcalino-terreux qui sont loin de ne pas présenter d'inconvénients.

Ainsi, dans les générateurs de vapeur, on a à craindre leur dissociation, qui amène des corrosions ; de plus, dans certaines industries qui redoutent les sels alcalino-terreux, on peut toujours craindre des accidents, car on ne fait qu'une simple transformation de carbonates en chlorures, et le métal alcalino-terreux reste toujours et peut alors former par saponification des composés insolubles, dans les savonnages.

Bien que l'on fasse un dosage rigoureux, pour savoir quelle quantité d'acide chlorhydrique il faut introduire dans l'eau, il est difficile cependant de ne pas en mettre un excès dans la pratique industrielle; aussi, pour remédier à cet état de choses, on fait ensuite passer l'eau acidulée, par l'acide chlorhydrique, sur du carbonate de baryum.

Dans ce passage, l'acide chlorhydrique libre se sature de baryum, et il se forme du chlorure de baryum, qui reste en solution :

$$2HCl + Co^3Ba = BaCl^2 + Co^2 + H^2O.$$

Cette réaction se produit lentement; on a donc avantage à chauffer un peu, pour faciliter l'action.

Le chlorure de baryum ainsi formé peut, à son tour, réagir sur le sulfate de calcium et donner naissance à du sulfate de baryum qui précipite :

$$So^4Ca + BaCl^2 = So^4Ba + CaCl^2,$$

mais il reste toujours du chlorure de calcium en solution.

PRODUITS COMMERCIAUX DE TRAITEMENT DES EAUX EN GÉNÉRAL ET LEUR EMPLOI

En dehors des nombreux corps que nous avons examinés, au point de vue du traitement de l'eau, soit spécialement pour les générateurs de vapeur, soit pour l'industrie en général, certains produits sont fabriqués par des industriels, qui combinent plusieurs de ces corps entre eux ou d'autres ayant des réactions analogues sur les sels de l'eau.

Certains de ces produits peuvent être employés non seulement dans l'intérieur des générateurs comme anti incrustants et désincrustants, mais encore dans le traitement préalable des eaux avant leur emploi dans l'industrie, et peuvent être utilisés dans les appareils épurateurs.

Parmi ceux-ci, nous citerons le « Calcophobe » de Volant-Eeckhout, qui est un mélange d'oxalates neutres alcalins, de sels de baryum et d'un extrait végétal ; ce mélange varie en nature et proportion, suivant la composition de l'eau et le traitement employé à chaud ou à froid.

Nous avons étudié précédemment les diverses réactions efficaces que donnent les sels de l'eau, avec chacune de ces matières prises isolément : oxalates neutres alcalins ou sels de baryum.

L'aluminate de baryum fait l'objet des produits de M. Asselin et de M. L. Daudé.

Nous sommes heureux de constater que ces produits ne sont livrés au consommateur qu'après s'être enquis de la composition de son eau et lui avoir demandé certains renseignements indispensables.

Ces produits ne peuvent avoir d'efficacité et être distribués sans perte, avec économie, qu'autant qu'ils sont combinés suivant la nature de l'eau et que la proportion de produit à employer soit dosée pour telle ou telle eau en service.

Cette règle, autrefois négligée, est prise en considération

par un certain nombre de fabricants, et elle tend à se généraliser de plus en plus pour les produits spéciaux aux générateurs.

Nous citerons, par exemple : l'« Anti-Tartre », de Neulat; le « Sélénifuge », de la Société le Sélénifuge ; l'« Hydrhyaline », d'Egrot.

Voici, par exemple, les indications que demande la maison Neulat :

1° Degré hydrotimétrique de l'eau ou 1 litre d'eau destiné à l'analyse ;

2° Type du générateur : tubulaire, semi-tubulaire ou à bouilleurs;

3° Force en chevaux ou quantité de combustible brûlé par jour;

4° Nombre d'heures de marche par jour;

5° Nombre de jours de marche par mois;

6° La chaudière est-elle entartrée.

Nous relevons ci-après les renseignements que demande au consommateur la Société du « Sélénifuge ».

1° Un litre d'eau d'alimentation destinée à l'analyse;

2° Type du générateur à bouilleur; et semi-tubulaire ou tubulaire;

3° Quantité de charbon brûlé par jour;

4° Quantité d'eau vaporisée par jour;

5° Nombre d'heures de marche par jour;

6° Nombre de journées de marche par mois;

7° Intervalle habituel des arrêts complets de la chaudière pour nettoyage et surveillance.

Parmi les produits connus citons encore :

Le « Lithophage », de Rodriguez Castroman; la « Solvéine », de Couchemann et L. Gilis; la « Calsoline », de L. Jémart; le « Tartriphage », de Constant; l'« Anti-Calcaire », de Carton et Cie; le « Désincrustant », de Boileau; la « Végétaline », de Compère et Faucher; l'« Anti-Calcaire », de Hamelle; l' « Anti-Tartre », Bretel; l'« l'Anti-Incrustateur », Néron; le « Désincrustant », Lavoix ; l'« Expur-

gine », de Lachery; la « Neutraline », de Drevdal; l' « Anti-Calcaire », Cambray; le « Désincrustant », Saurel; le « Tartrol », Meyher ; la « Briquette », Fleury Legrand; le « Colorado », de Frémier; le « Désincrustant », Sayer; le « Désincrustant Indien », de V. Acker; l' « Anti-Tartre », de L. Normand; le « Désincrustant », André et Ferrand; l' « Anti-Tartre Chatillon », de Lhéritier et Cie; le « Désincrustant », Trotoux; le « Nihil-Tartre », Roux; le « Désincrustant », Périmbert; le « Paratartre », Magnet; le « Désincrustant », Taillandier; l' « Anti-Tartre », Main; le « Tartrifuge », Nivet; le « Lithoréactif », Weiss; le « Capnomore », de Raby et Willain; le « Parasel », Gissler; le « Désincrustateur », Pistre;... etc.

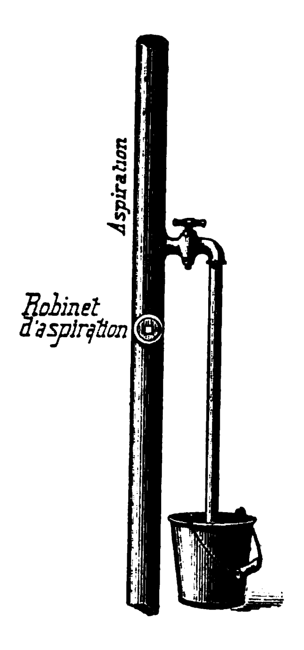


Fig. 68. — Dispositif utilisé pour introduire des désincrustants dans les chaudières.

Ces différents produits peuvent être employés, en les introduisant tous les mois en proportion convenable dans les générateurs; mais il est préférable de faire chaque jour cette introduction, en tenant compte du volume d'eau employé.

On mélange les produits dont on veut faire usage, dans la chaudière, soit en se servant de la bâche alimentaire, de la pompe alimentaire ou des injecteurs.

A défaut de bâche alimentaire, l'introduction du produit désincrustant peut se faire par aspiration avec un dispositif simple, consistant à placer un robinet sur le tuyau d'aspiration de la machine et à le relier par un tuyau de caoutchouc, qu'on fait plonger dans un récipient quelconque contenant le désincrustant.

Pour pratiquer l'opération, il suffit d'ouvrir le robinet du tuyau d'aspiration communiquant avec le caout-

chouc et de fermer, en partie, le robinet du tuyau principal.

Un moyen que préconise M. Volant-Eeckhout pour le « Calcophobe », et qui peut être utilisé pour les différents désincrustants, consiste à fixer sur le tuyau d'aspiration un graisseur à deux robinets, supérieur et inférieur, semblable à ceux que l'on trouve dans le commerce.

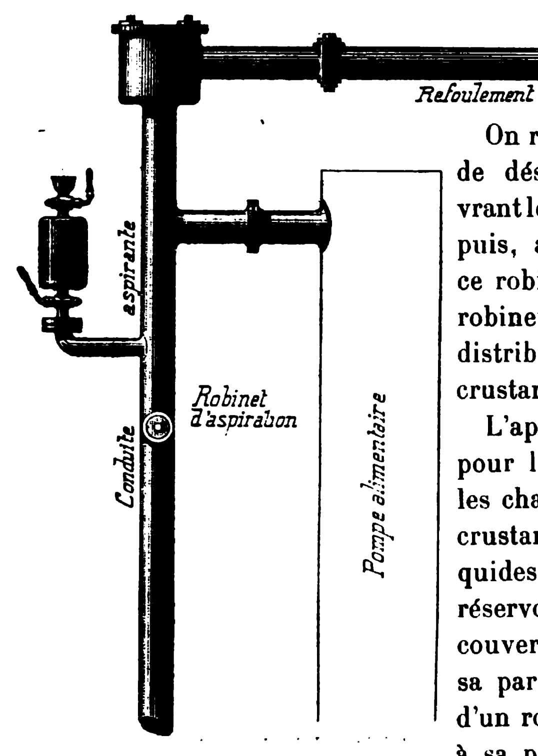


Fig. 69. — Dispositif de l'appareil servant à l'introduction des désincrustants dans les chaudières.

On remplit le graisseur de désincrustant en ouvrant le robinet supérieur; puis, après avoir fermé ce robinet, on ouvre le robinet inférieur, et la distribution du désincrustant se produit.

L'appareil Deloffre, pour l'introduction dans les chaudières des désincrustants solides ou liquides, se compose d'un réservoir D, muni d'un couvercle à vis C, dans sa partie supérieure, et d'un robinet de purge B, à sa partie inférieure.

Cet appareil se fixe par une tubulure E sur le tuyau de refoulement F de la pompe alimentaire, le plus près possible du clapet de sûreté.

Pour le fonctionnement, on ferme le robinet, puis on ouvre le purgeur B pour chasser l'eau.

Ceci fait, on dévisse le couvercle C; on ferme le pur-

geur B, et on introduit le désincrustant dans le réservoir D.

Après avoir vissé à fond le couvercle C, on ouvre progressivement le robinet, et l'écoulement du désincrustant se poursuit automatiquement.

Un certain nombre de désincrustants n'ayant pas, sur les sels de l'eau, des réactions chimiques bien déterminées,



Fig. 70. — Appareil Deloffre, servant à introduire les désincrustants solides ou liquides dans les chaudières.

mais produisant cependant des effets favorables, il est nécessaire, comme pour les produits à réactions chimiques bien établies, de déterminer leur emploi raisonné suivant la nature et le volume d'eau.

Pour cela, on procédera à des essais successifs sur l'eau à employer, avec le désincrustant que l'on veut mettre en service, en diminuant la proportion de ce désincrustant jus-

qu'à la rendre minimum, tout en conservant son efficacité.

Ce minimum sera la proportion de désincrustant à employer avec l'eau utilisée ; il ne s'agira plus que de la rapporter au volume d'eau à traiter.

Nous recommandons particulièrement aux usines de teinture, d'apprêt et de blanchiment et aux papeteries, qui peuvent employer ces différents produits, de faire part de leur spécialité au fabricant, qui doit modifier, s'il y a lieu, la composition de leur mélange, que nécessitent ces industries particulières.

CHAPITRE II

PRÉCIPITATION DES MATIÈRES EN SUSPENSION DANS L'EAU

Depuis longtemps les Chinois et les Indiens éclaircissent les eaux troublées par les matières en suspension en se servant d'alun.

Cette méthode est encore appliquée, et peut être non seulement employée pour entraîner les matières qui se trouvent en suspension dans l'eau, mais encore pour les corps ou précipités obtenus par les réactifs mis en œuvre dans l'épuration de l'eau, que leur état moléculaire empêche de se rassembler rapidement.

Il est utile, dans l'épuration des eaux, que les précipités se rassemblent bien et vite; sans cela on s'expose à avoir une filtration longue et pénible par les particules de précipités, qui obstruent les pores des matières filtrantes.

L'emploi du sulfate d'alumine repose sur la formation d'un précipité d'alumine, qui se rassemble rapidement en entraînant mécaniquement avec lui les matières en suspension, sous forme de laques.

Cet alumine se précipite de son sulfate, en présence des carbonates alcalins ou de la chaux :

$$(So^4)^3 Al^2 + 3Co^3Ca = 3So^4Ca + Al^2O^3 + 3Co^2;$$

avec la chaux, on a :

$$(So^4)^3 Al^2 + 3CaO = 3So^4Ca + Al^2O^3.$$

D'après cela, on voit que, dans l'épuration des eaux à la

chaux, pour faciliter le rassemblement des précipités et obtenir par suite une filtration rapide, on ajoutera, au réactif alcalin, du sulfate d'alumine.

La proportion est d'environ 10 grammes par mètre cube d'eau.

Les sels de fer peuvent être aussi employés, à la place des sels d'alumine; mais, au lieu d'un précipité d'alumine, il se produit un précipité d'hydrate d'oxyde ferrique, dont l'action est la même que celle de l'alumine.

Avec le perchlorure de fer et les carbonates alcalins, on a la réaction :

$$Fe^2Cl^6 + 3Co^3Ca = Fe^2O^3 + 3CaCl^2 + 3Co^2;$$

avec la chaux, on aurait :

$$Fe^2Cl^6 + 3CaO = 3CaCl^2 + Fe^2O^3.$$

Le perchlorure de fer est traité par la chaux ou carbonate de calcium, en dehors de l'oxyde ferrique formé, qui est nécessaire dans le cas présent; on obtient en même temps du chlorure de calcium soluble.

Ce chlorure de calcium serait une gêne dans beaucoup d'industries, si les réactifs, qu'on ajoute pour l'épuration, ne venaient pas transformer ce chlorure de calcium en un autre, sans inconvénient dans la plupart des cas, comme les chlorures alcalins.

CHAPITRE III

APPAREILS SERVANT A L'ÉPURATION CHIMIQUE PRÉALABLE DES EAUX

Décanteurs P. Gaillet. — Le décanteur vertical est constitué par une caisse métallique rectangulaire, présentant dans son intérieur 15 diaphragmes inclinés à 45° et rivés alternativement sur les deux faces opposées dans le sens de sa hauteur.

Les diaphragmes forment des espèces d'augets, qui aboutissent à une série de robinets d'évacuation.

L'eau épurée à clarifier pénètre par le fond du décanteur, arrive sur le premier diaphragme, dont elle suit la pente ascendante, et de là passe sur le diaphragme immédiatement supérieur, qu'elle redescend pour remonter sur le diaphragme suivant, et ainsi de suite jusqu'au dernier diaphragme, où elle se trouve complètement débarrassée de ses particules solides.

Etant donnée l'inclinaison des diaphragmes, les corps en suspension, qui se déposent à leur surface, sont entraînés dans l'angle des compartiments qu'ils forment intérieurement, et des robinets de purge facilitent leur extraction, avec force, de l'appareil, par la pression de l'eau.

Par ces dispositions, la clarification est facilitée, car l'eau circule en effet sur les parties des diaphragmes où les dépôts sont les moins nombreux.

La figure 72 représente un épurateur vertical, avec bacs à réactifs.

Dans ce dispositif, le débit des réactifs et de l'eau est

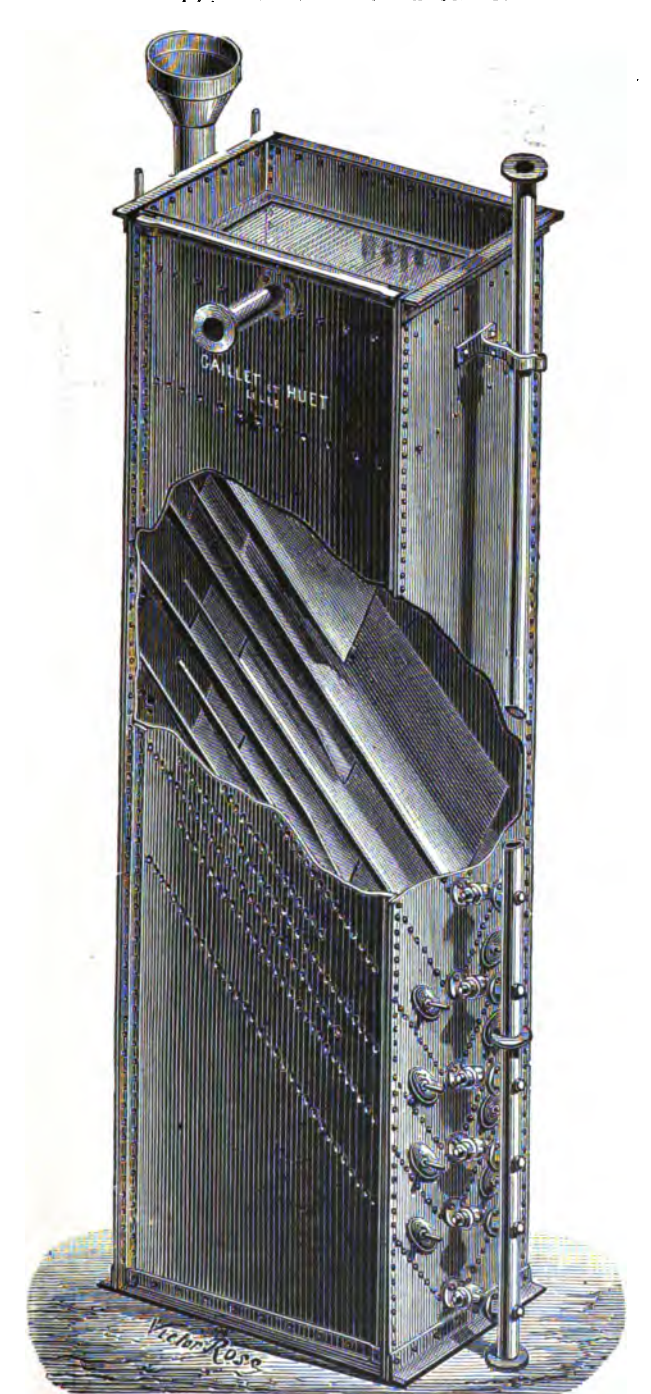
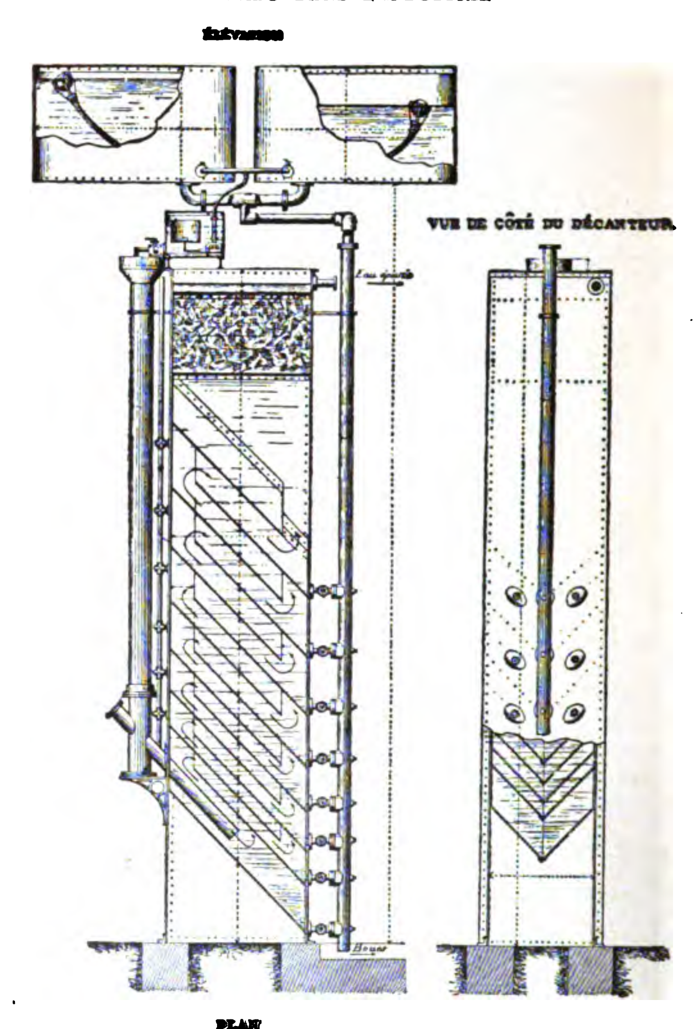


Fig. 71. — Décanteur vertical (système Paul Gaillet).



PLAN

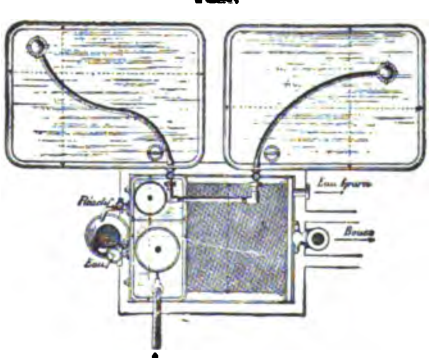


Fig. 72. — Installation d'épurateur vertical avec bacs à réactif (système Paul Gaillet).

assuré par des régulateurs, à niveau constant, basés sur l'action d'un flotteur sur un clapet d'admission.

Le réglage du débit s'effectue avec précision par des robinets ou des vannes à crémaillères.

Au moyen d'un tube en caoutchouc, avec flotteur situé dans la partie supérieure des bacs à réactif, on puise de cette façon la portion la plus pure du liquide, qui, entraînée ensuite dans le décanteur, réagit sur l'eau à épurer et détermine la précipitation des sels alcalino-terreux en solution dans l'eau.

Comme le décanteur vertical, le décanteur horizontal comprend, dans son intérieur, une série de diaphragmes

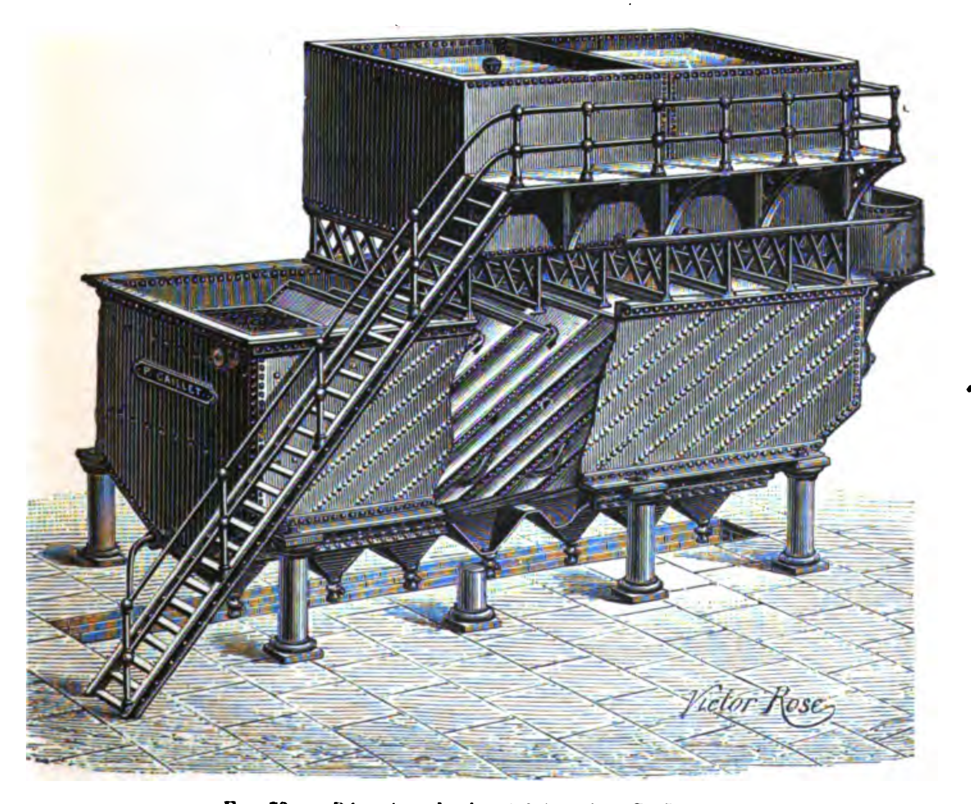


FIG. 73. — Décanteur horizontal (système P. Gaillet).

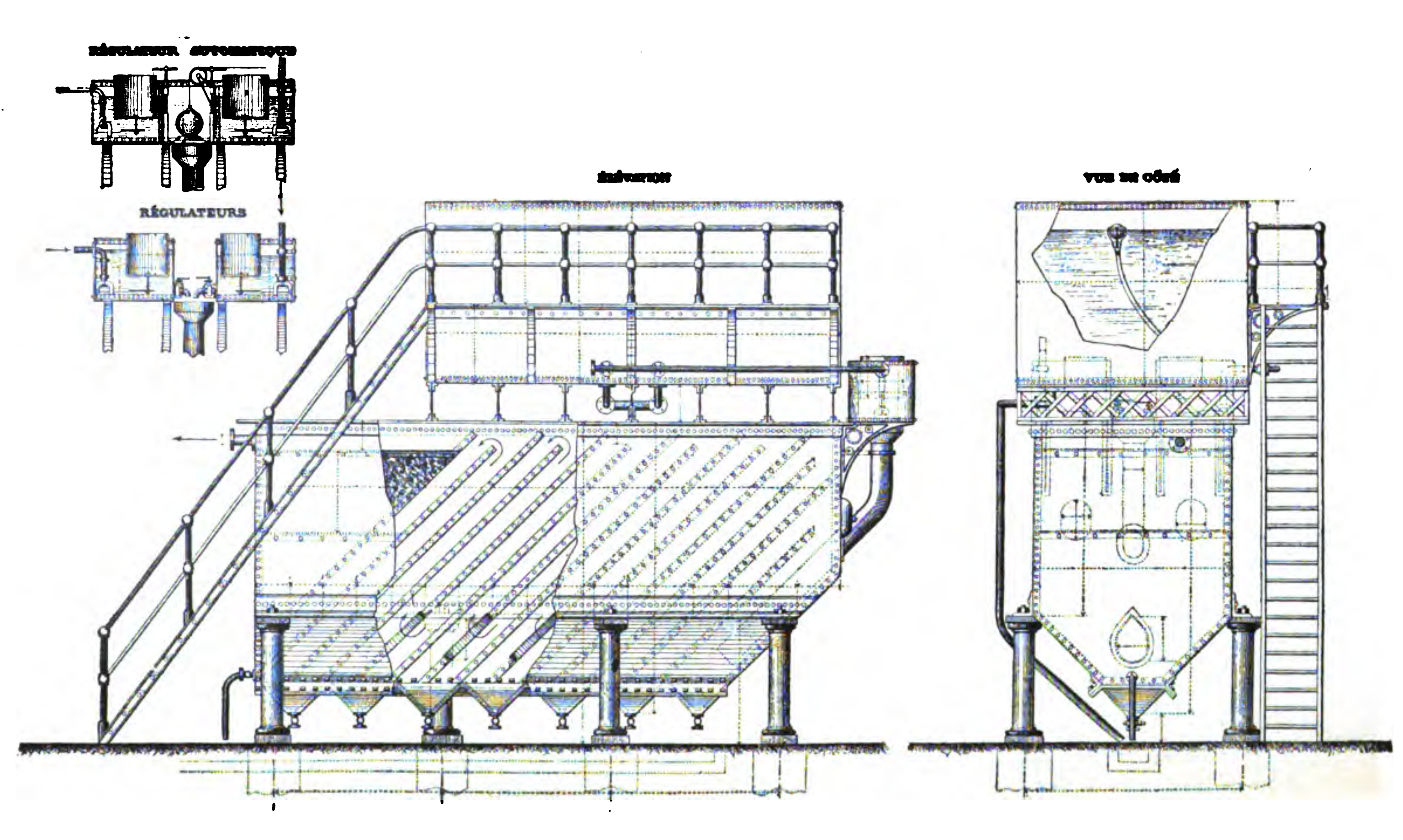


Fig. 74. — Installation complète d'un épurateur du type horizontal avec bacs à réactif (système Paul Gaillet).

inclinés et disposés convenablement pour recueillir en un même point les substances solides.

La caisse métallique, dans laquelle se fait l'introduction de l'eau à épurer, est de forme rectangulaire, terminée à sa base par une partie triangulaire, dont la pente des faces est la même que celle des diaphragmes.

Par cette disposition, les particules solides glissent facilement sur les diaphragmes et se rassemblent dans la partie inférieure, en forme de cuvette, munie d'un robinet d'évacuation.

Afin d'éviter que la veine liquide, dans un mouvement ascensionnel, ne vienne contrarier la descente des corps précipités, les diaphragmes sont prolongés jusqu'à la cuvette de dépôt.

De cette façon, les matières, qui se trouvent sur ces diaphragmes, glissent directement dans la cuvette collectrice ; quant au liquide, il passe par des trous percés dans ces diaphragmes, trous dont les bords sont relevés pour empêcher la rencontre des matières dans leur descente.

Ajoutons qu'un filtre complète ce décanteur et termine la clarification.

Épurateur cylindrique P. Gaillet. — Cet épurateur se compose d'un récipient cylindrique, terminé à sa base par un cône muni d'un orifice de vidange.

Une série de pièces métalliques, qui s'emboîtent les unes dans les autres, sont disposées dans l'axe du cylindre.

Ces pièces métalliques sont circulaires et percées de trous symétriquement disposés, recouverts d'un manteau ayant pour effet d'imprimer aux dépôts une direction vers le bas, en les empêchant de subir l'action des courants ascensionnels.

Les surfaces de dépôts, ou diaphragmes, ont la forme de triangles, dont les bords sont relevés et constituent des tranchées, du centre à la circonférence, dans lesquelles l'eau à clarifier s'élève dans toute leur étendue.

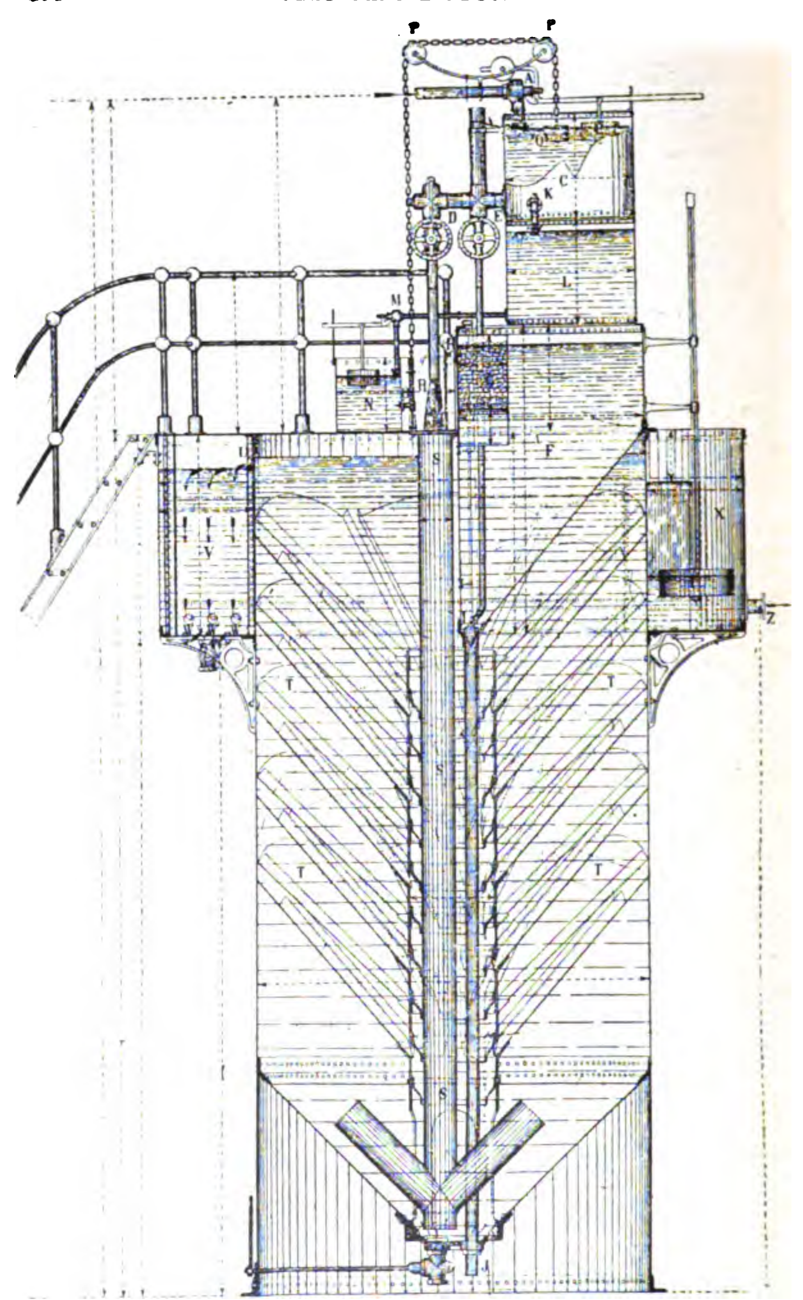


Fig. 75. — Epurateur cylindrique avec saturation automatique de réactif (système Paul Gaillet, coupe).

L'arrivée de l'eau à clarifier se fait au fond du décanteur par un tuyau contenu dans la colonne centrale et garni de tubes destinés à diriger le liquide vers le haut, pour ne pas remuer les dépôts qui sont au fond.

Ensuite l'eau s'élève par les tranchées du premier étage; après les avoir traversées, elle rencontre les parties pleines de l'étage supérieur, ce qui la force à passer au-dessus des dépôts.

Il est à noter que les orifices d'une pièce centrale correspondent aux parties pleines des pièces voisines, d'où il résulte que les tranchées d'un étage de diaphragmes correspondent aux parties pleines des étages voisins.

Par suite de cette disposition, le mouvement de l'eau est contrarié, sans changements brusques, et la circulation se fait en minces filets, ce qui favorise la décantation.

Quant aux dépôts qui se forment sur les diaphragmes, ils glissent sur leur surface et se déversent, d'une façon régulière, dans un tube central, qui les conduit au fond de l'appareil.

Un filtre, formé d'une couronne circulaire concentrique à la paroi du décanteur, peut se diviser en deux parties, pour faciliter le nettoyage sans arrêter l'épuration.

L'eau, en sortant du décanteur, passe par un déversoir et se rend sous les filtres; une fois filtrée, elle pénètre dans un autre compartiment servant de réservoir d'eau épurée.

C'est sur le décanteur que se trouve posé, généralement, le préparateur de réactifs; il est terminé par un cône qui entre dans l'appareil; un clapet de vidange le fait communiquer par un tuyau à la base du décanteur, où se rendent les résidus qui sont expulsés.

Si, dans l'épuration de l'eau, on fait seulement usage de chaux, on assure, par un bac distributeur, un débit proportionnel entre l'eau et le réactif.

Dans le cas où le traitement de l'eau est fait par d'autres produits, tels que la soude, le perchlorure de fer, l'aluminate de soude, etc., on introduit ceux-ci dans des réservoirs

placés sur l'épurateur et munis de régulateurs automatiques de débits.

Ajoutons que M. P. Gaillet préconise, dans ses appareils, l'action de la chaux combinée avec la soude.

Dans la figure précédente, qui représente la coupe de l'épurateur cylindrique à filtre extérieur, l'eau est amenée par une valve régulatrice A, actionnée par un flotteur B, suivant

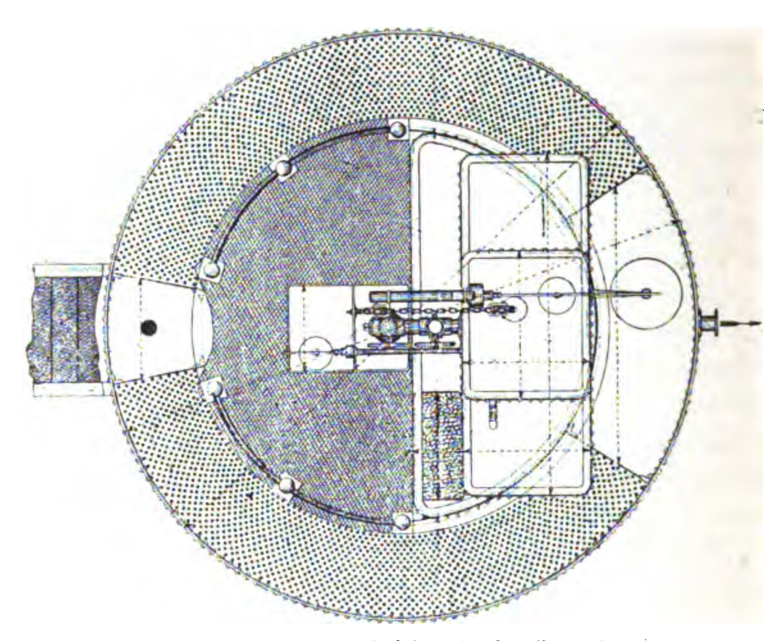


Fig. 76. — Epurateur cylindrique Paul Gaillet (plan).

le niveau de l'eau à épurer, qui est déversée dans le bac distributeur C.

L'eau sort du bac C par une vanne de réglage D, qui la conduit à l'épurateur; une autre vanne de réglage, E, en conduit une partie dans le saturateur de réactif.

Le saturateur automatique d'eau de chaux F communique avec un récipient G, pour l'extinction automatique de la chaux, il est muni à sa base d'un clapet de vidange I et d'un orifice extérieur J pour la purge.

Ainsi préparée, l'eau de chaux sort par le déversoir H et tombe dans le tuyau S d'alimentation de l'épurateur.

Un robinet K, fixé au bac distributeur d'eau G, sert à en conduire une partie au réservoir de soude L ou d'autres réactifs; elle passe ensuite dans une valve régulatrice d'admission M et remplit un bac distributeur de soude ou d'autres réactifs N.

Au moyen d'un clapet automatique O, le débit de la soude est réglé ou arrêté par un dispositif PP, dont un flotteur Q, suivant le niveau de l'eau dans le bac C, commande le clapet O.

Les réactifs sont alors mélangés dans un récipient R, puis ils passent dans le tuyau S d'alimentation de l'épurateur T, muni de ses diaphragmes et de son robinet de purge.

Après décantation dans son parcours sur les diaphragmes, l'eau passe le déversoir U dans le compartiment V, pénètre sous les filtres par les ouvertures W, W, W et de là, l'eau, épurée et filtrée, se rend dans un réservoir spécial X.

Un flotteur Y commande l'arrêt et la mise en marche de l'appareil; quant à l'eau épurée et filtrée, elle sort par l'ouverture Z.

Appareil Bérenger et Stingl. — Cet appareil consiste en une série d'épurateurs, généralement : trois, ce nombre étant suffisant dans la plupart des cas.

L'eau à épurer se déverse, ainsi que les réactifs, par deux conduits dont le réglage est effectué par des robinets gradués dans une capsule métallique, où s'opère le mélange.

Ce mélange, eau à épurer et réactif, passe par-dessus les bords supérieurs et tombe dans une capsule concentrique terminée à sa base par un tuyau vertical.

L'eau, mélangée de réactifs, descend par ce conduit vertical dans un cône renversé, en métal supporté par un trépied, et déborde par-dessus le cône, pour se répandre dans un réservoir cylindrique, qui contient ce cône.

L'eau se débarrasse d'une partie de ses matières précipi-

tées, qui tombent dans la partie inférieure du réservoir en forme cylindro-conique; l'expulsion des boues se fait par un robinet purgeur situé à la base.

L'eau remonte le réservoir, pour passer dans l'épurateur suivant, en débordant dans une gouttière située à la partie supérieure du premier épurateur et communiquant avec un conduit horizontal.

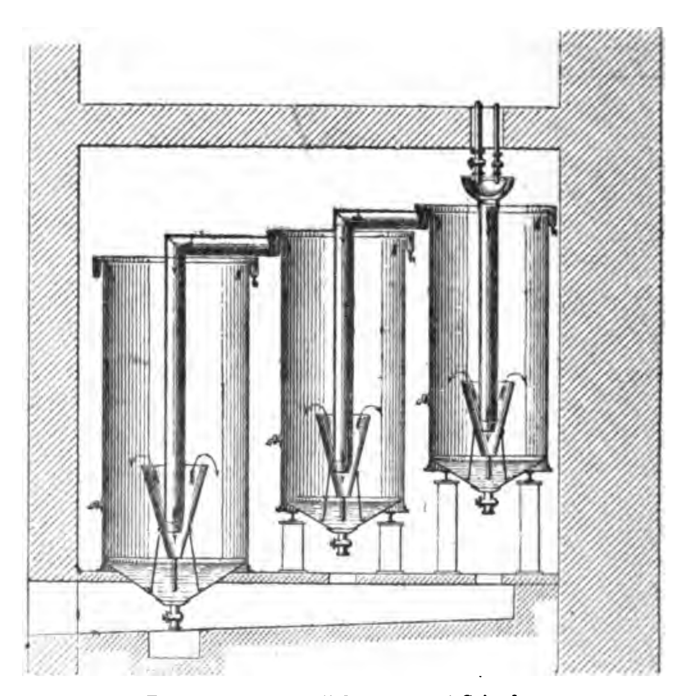


Fig. 77. — Appareil Bérenger et Stingl.

En sortant du conduit horizontal, l'eau descend dans le conduit vertical, qui fait suite au tuyau horizontal, et passe dans le deuxième épurateur, où elle se débarrasse de ses matières précipitées, par décantation.

L'eau suit la même marche dans le deuxième épurateur et passe de même dans le troisième.

A la sortie du troisième épurateur, l'eau subit une filtration de bas en haut, à travers une couche de fibres de bois

ou autre matière filtrante, comprise entre deux toiles métalliques.

L'eau, épurée et filtrée, s'écoule ensuite dans la bâche d'alimentation.

Epurateur automatique H. Desrumaux. — Dans l'épurateur Desrumaux (*fig.* 78), l'eau arrive par un tuyau A, passe dans un bac de distribution B, dont une vanne C règle le débit de l'eau à épurer, qui tombe sur une roue à augets E, en mettant ainsi en mouvement l'arbre de malaxage d'un saturateur J.

En tombant de la roue à augets, ou moteur hydraulique, l'eau est conduite au décanteur M par une goulotte F.

Les réactifs divers sont préparés dans un réservoir G, où le débit en est assuré par un flotteur régulateur I en ébonite.

Sur le côté gauche du bac à distribution B est placé une vanne D servant à régler le débit de l'eau à transformer en eau de chaux ; elle se déverse dans un godet H et dans le saturateur J.

Ce saturateur est muni d'un extincteur automatique de chaux R et d'un clapet de purge U, situé à la partie inférieure.

Une goulotte K amène l'eau de chaux saturée dans la colonne centrale de réactions M faisant partie du décanteur, dont un espace libre annulaire LL permet de nettoyer ses surfaces.

Des lames hélico-conoïdales N forment des surfaces de décantation continue, qui peuvent se nettoyer, sans être démontées, en faisant arriver un simple courant d'eau par l'espace annulaire LL.

Les boues, par la forme de ces surfaces hélico-conoïdales, sont donc sollicitées vers la partie inférieure; elles sont reçues dans des collecteurs O, O, et finalement, dans un réservoir à boues P, muni d'une soupape de vidange S pour leur expulsion.

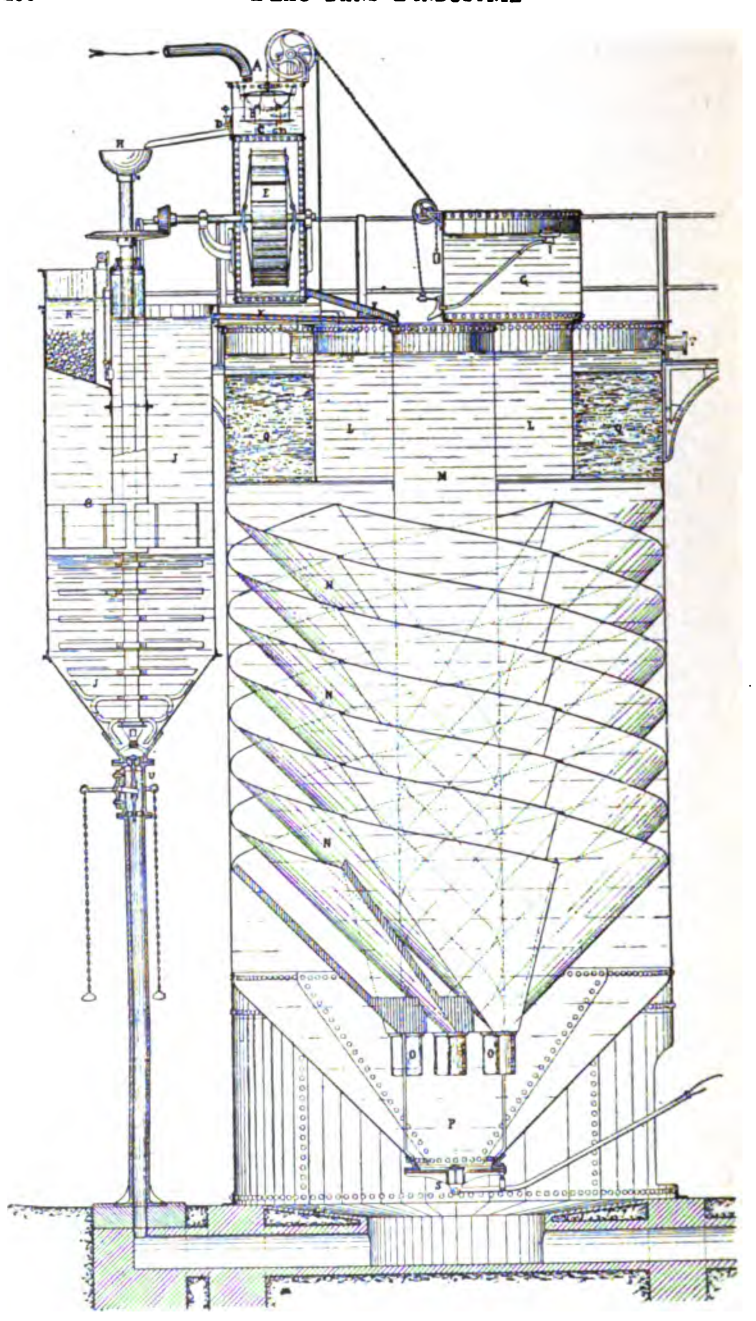


Fig. 78. — Coupe de l'épurateur automatique H. Desrumaux.

Un filtre QQ complète l'appareil, et l'eau épurée sort par un tuyau T.

On voit donc que, dans l'épurateur Desrumaux, deux

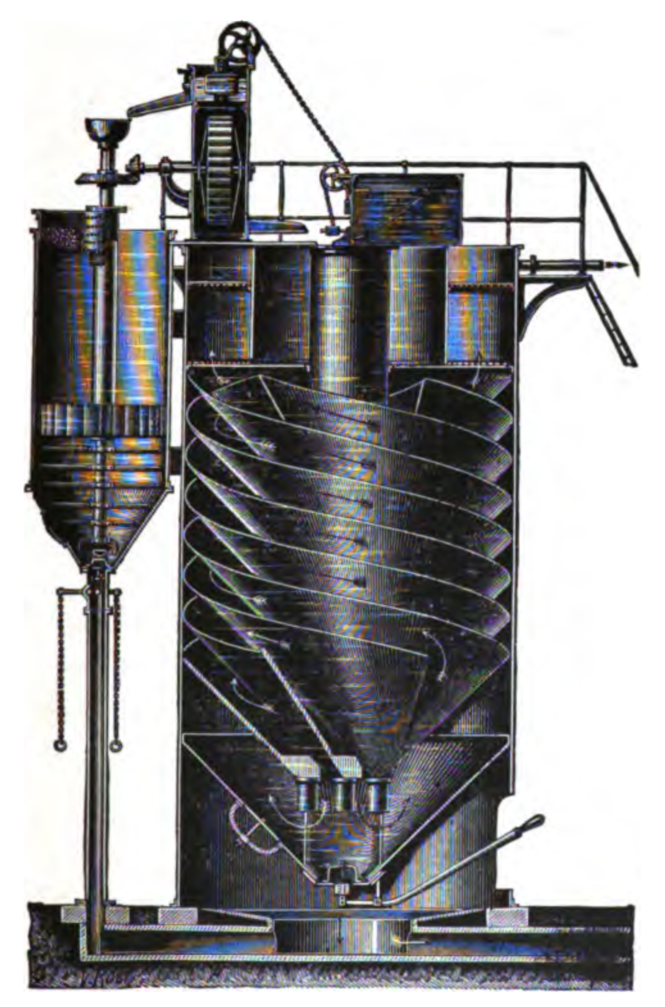


Fig. 79. — Epurateur automatique H. Desrumaux (vue intérieure).

ordres de faits bien distincts se produisent : 1° la précipitation des sels en solution dans l'eau par des réactifs appropriés et préparés dans des organes spéciaux ; 2° la séparation

et l'élimination des précipités formés, ainsi que des matières en suspension, limons, fer, sable, et débris organiques de toutes espèces.

Les réactifs solubles dans l'eau sont assez faciles à distribuer; proportionnellement au volume d'eau à corriger, mais la régularité de cette distribution demande à être faite dans un appareil combiné spécialement.

Cette distribution régulière des réactifs est obtenue en prenant les solutions au moyen d'un flotteur régulateur en ébonite, dans lequel elles entrent par un orifice percé sur le tube central du régulateur.

Le tube central est relié par une tubulure latérale à un conduit de décharge flexible; il est maintenu, par le flotteur annulaire, à une distance toujours égale du niveau du liquide; de cette façon, on obtient un écoulement régulier et constant du liquide.

En levant ou en abaissant le tube central du flotteur régulateur, on réduit et on augmente à volonté le débit des réservoirs à réactif.

Les flotteurs régulateurs, étant entièrement en ébonite, sont inattaquables par les réactifs alcalins ou acides.

Quant à la préparation de l'eau saturée de chaux, elle demande un peu plus de difficulté; car elle est toujours mélangée de matières étrangères, qui obligent à employer des proportions de chaux différentes pour obtenir une saturation complète de la chaux.

On se base alors, dans la préparation du réactif, sur ce que l'eau, en présence d'une grande quantité de chaux, en dissout environ $1^{gr},25$ par litre.

Tout revient donc, pour avoir un poids de chaux déterminé, à prendre le volume correspondant d'eau saturée de chaux.

Nous ne parlerons pas de la préparation de l'eau de chaux, saturée par un brassage à la main, l'appareil Desrumaux étant muni d'un saturateur d'eau de chaux, où le malaxage de l'eau à saturer se fait automatiquement par un malaxeur

mû par une roue hydraulique actionnée au moyen de l'eau à épurer.

La chaux en pierre est versée dans un récipient demi-cylindrique, qui sert à l'extinction de la chaux, baignée par l'eau; elle s'éteint d'elle-même.

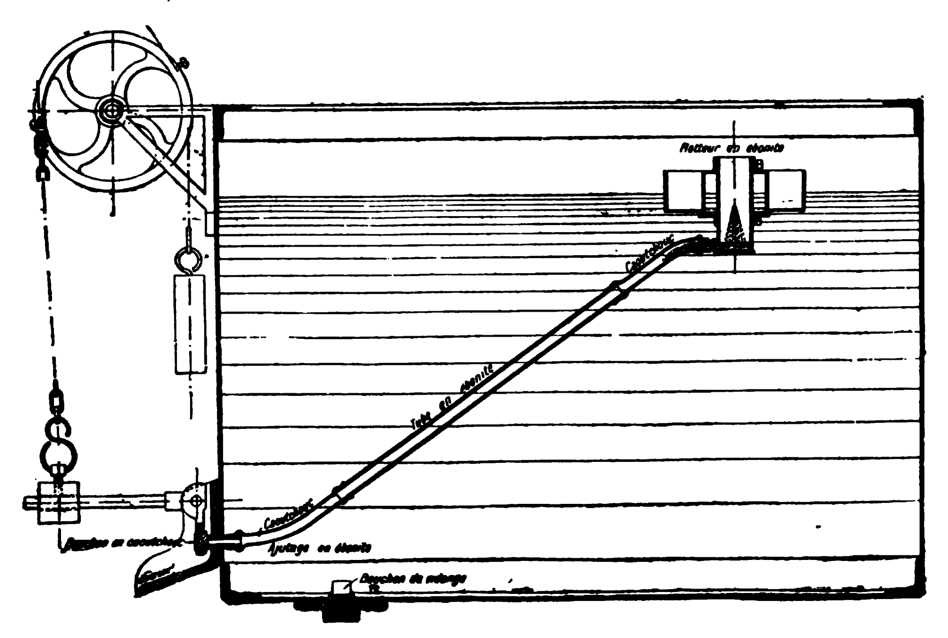


Fig. 80. — Réservoir à réactif de l'Epurateur automatique H. Desrumaux.

Cette eau, servant à la préparation du réactif, est amenée par le tube central, où elle sort par sa partie inférieure.

Pour charger l'appareil, on fait descendre la chaux dans la caisse du malaxeur par une vanne à crémaillère faisant communiquer le fond de l'extincteur par un tube central.

Après saturation et clarification, l'eau de chaux sort par le haut du saturateur et va se mélanger à l'eau à épurer, tombant du moteur hydraulique, et en même temps se mélange aux autres solutions provenant du réservoir à réactif placé directement sur le décanteur.

Aussitôt en contact avec l'eau à épurer, les réactifs précipitent les sels en solution dans l'eau; il s'agit ensuite de

recueillir ces précipités et d'obtenir une clarification rapide pour terminer l'épuration.

Cette dernière opération se fait dans le décanteur, à surfaces hélico-conoïdales, formé d'un grand récipient cylin-

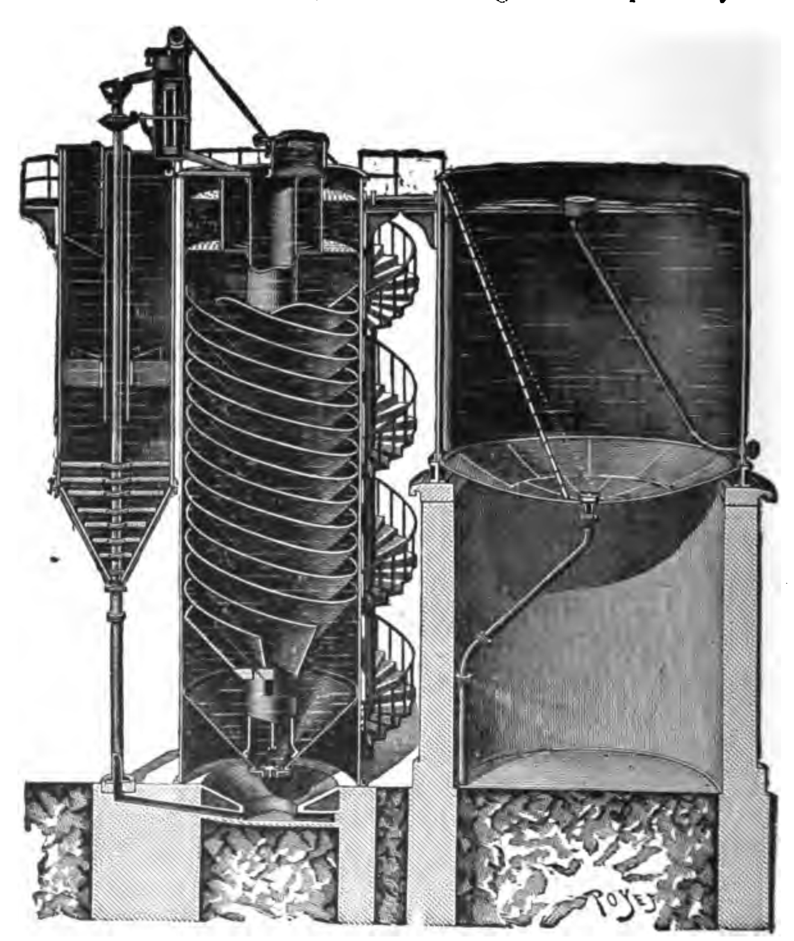


Fig. 81. — Type d'une installation de l'épurateur H. Desrumaux à la Compagnie des chemins de fer de Jaffa à Jérusalem.

drique vertical fermé dans le bas par un fond conique, pourvu d'une soupape de vidange.

Dans sa partie centrale se trouve un cylindre, ouvert à chaque extrémité, autour duquel sont enroulées plusieurs

rangées de lames métalliques tenant à la fois du cône par leur inclinaison et de l'hélice par leur développement; c'est pourquoi cette surface est appelée : hélico-conoïdale.

Il résulte, de la forme même, une descente rapide des corps solides, précipités ou en suspension, qui sont conduits dans le réservoir à boues.

Enfin l'eau sort épurée par un filtre, formé de fibres de bois, comprimées légèrement entre deux plaques de tôles perforées.

Epurateur à froid Dervaux. — Cet épurateur est construit, pour recevoir deux réactifs quelconques satisfaisant à l'épuration des eaux; mais son constructeur préconise la soude et la chaux.

En conséquence, l'appareil se compose d'un saturateur d'eau de chaux, d'un distributeur de solution de soude, d'un réservoir décanteur, et enfin d'un filtre.

Un bac distributeur A, divisé en deux compartiments R et Q, contient l'eau et la chaux brute.

L'eau à épurer arrive par un conduit dans le réservoir R, qui la distribue par les ouvertures V, M, P et les tuyaux correspondants aux récipients S, N, D.

Les orifices V, M, P sont réglés par des gabarits suivant l'analyse de l'eau, et cette eau est alors distribuée en plus ou moins grande quantité.

Dans le réservoir Q se trouve la chaux brute, qu'on éteint et épierre d'abord; puis, lorsqu'elle est transformée en lait de chaux, on peut l'utiliser.

On l'envoie, une fois par jour, en ouvrant le robinet G, dans le récipient S par un tuyau O allant jusqu'au fond.

Ce récipient S, ou cône saturateur automatique d'eau de chaux, se compose d'un récipient conique, muni à sa base d'un robinet de vidange pour la chaux épuisée.

L'eau brute, amenée par le tuyau K, dont l'ouverture V est réglée suivant l'analyse de l'eau par un gabarit, se mélange au lait de chaux déversé par le tuyau O.

Grâce à la forme conique du saturateur, et, par conséquent, à son élargissement progressif, la vitesse d'ascension du liquide diminue au fur et à mesure que l'on s'élève et provoque la saturation et la décantation de l'eau de chaux.

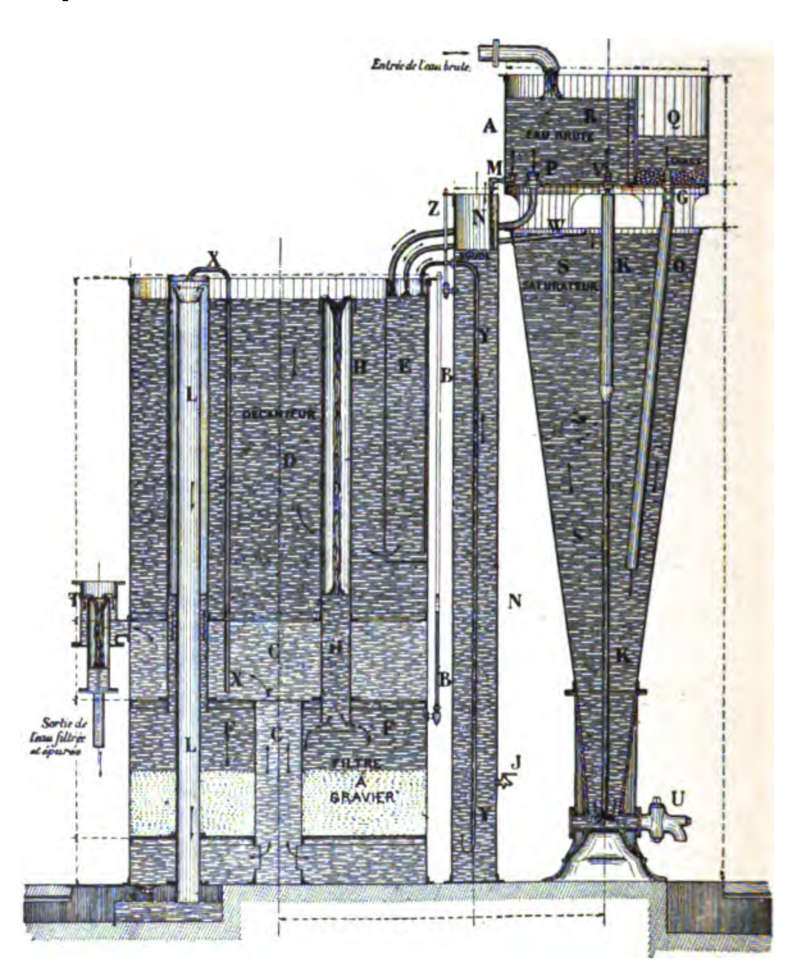


Fig. 82. — Épurateur automatique Dervaux.

L'eau de chaux, ainsi saturée, est claire, passe par un tuyau W dans la cheminée E, dans laquelle se déverse aussi : de l'eau brute à épurer et de la soude.

La colonne N de distribution automatique de soude est

formée d'un récipient cylindrique ou colonne, dans laquelle l'eau est introduite par le tuyau M réglé par son gabarit.

Un conduit Y, allant jusqu'à la base de la colonne, sert à diriger, par un mouvement ascensionnel, dans la cheminée E, la solution de soude qui est versée, chaque jour, à la partie supérieure du récipient cylindrique.

Dans la cheminée E se fait le mélange, d'après l'analyse hydrotimétrique, des réactifs, soude et eau de chaux, et enfin de l'eau à épurer.

Les liquides descendent ainsi dans le réservoir décanteur D, où les boues précipitées se déposent au fond.

L'eau épurée descend par la cheminée H dans un filtre F, à siphon laveur automatique, formé par une couche de gravier reposant sur une plaque de tôle perforée que l'eau traverse de haut en bas en s'accumulant ensuite dans un réservoir G.

Ainsi épurée et clarifiée, l'eau sort par le déversoir T.

Si les dépôts sont trop nombreux, pour empêcher le passage de l'eau à travers la couche filtrante de gravier, l'eau à filtrer monte du réservoir F dans l'espace annulaire du tuyau L, pour retomber dans ce tuyau L.

L'eau du réservoir C est alors aspirée et traverse de bas en haut la couche de gravier, en soulevant les dépôts boueux qui y sont formés et les chasse à l'extérieur de l'appareil.

Enfin, dans le système d'épuration d'eau Dervaux, le cône saturateur S, la colonne à réactif N et le filtre automatique E peuvent être séparés facilement l'un de l'autre.

Appareil Clarke Atkins et Porter. — L'appareil Clarke, Atkins et Porter est installé surtout en Angleterre.

Le réactif est fabriqué dans un réservoir spécial contenant de la chaux ; l'eau pénètre par le bas de ce réservoir et se charge de chaux. Un agitateur favorise le mélange.

L'eau, chargée ainsi de chaux, monte dans le réservoir et abandonne l'excès de chaux, puis sort par la partie supé-

rieure et passe dans un autre réservoir, où se fait l'épuration de l'eau.

Un agitateur permet de mélanger convenablement le réactif avec l'eau à épurer.

Enfin l'eau sort par le haut du réservoir et passe dans un filtre-presse, composé d'une série de plateaux en fonte.

Ces plateaux présentent des parties, creuses et pleines correspondantes, entre lesquelles on dispose des matières filtrantes, telles que du coton.

L'eau chargée de réactif et de corps précipités, en suspension, pénètre par un canal, ménagé dans les formes, et traverse la matière filtrante, puis s'écoule du côté opposé, par un canal se trouvant dans les plateaux.

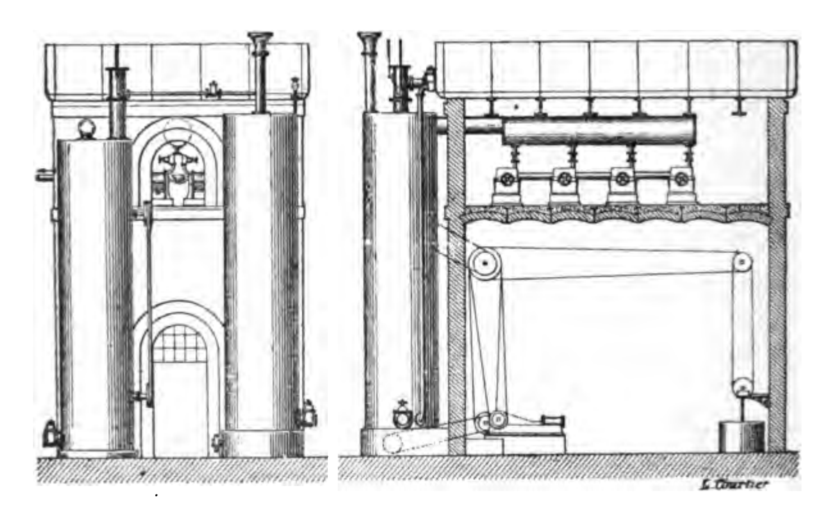


Fig. 83. — Epurateur Clarke, Atkins et Porter (élévation antérieure).

Fig. 84. — Epurateur Clarke, Atkins et Porter (Elévation latérale).

Dans ce parcours, l'eau abandonne à la matière filtrante les substances en suspension, et l'eau sort claire et épurée.

Il faut nettoyer la matière filtrante toutes les quinze heures environ, pour cela, on envoie de l'eau, en sens contraire de l'arrivée de l'eau à épurer.

Appareil Demailly. — Cet appareil peut être utilisé dans les industries où l'eau a besoin d'être épurée, mais souvent on l'emploie pour les générateurs, et, dans ce cas, on le dispose entre la pompe alimentaire et la chaudière.

L'appareil Demailly se compose essentiellement de deux corps cylindriques métalliques A et B.

Dans le récipient A se trouve un lait de chaux; l'eau à épurer est amenée par un tuyau T, qui communique d'une

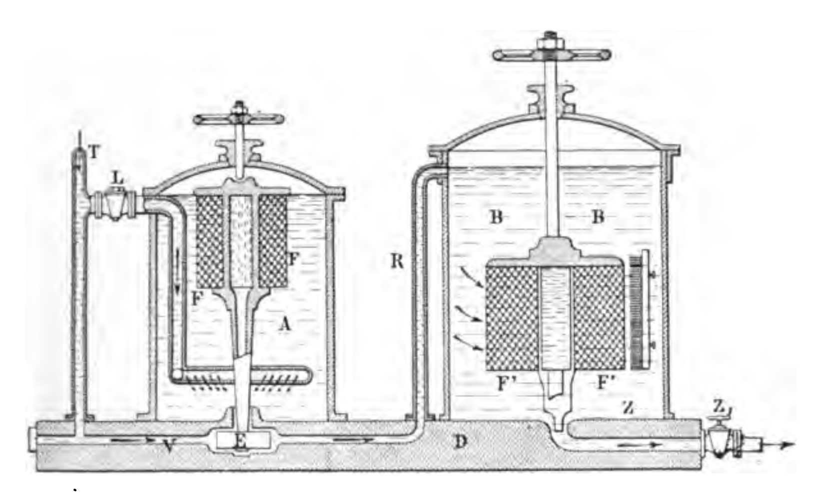


Fig. 85. — Coupe de l'appareil Demailly.

part avec le conduit principal V, et d'autre part avec un petit tube L.

Une portion de l'eau est conduite par ce tube et sort par une série d'ouvertures dans le cylindre A à réactif.

Le lait de chaux est alors dilué; l'eau se sature de chaux et, dans son ascension, traverse un filtre F, puis passe par le tube central, et finalement le réactif tombe sur une roue à hélices E, qui le met au contact de l'eau venant par le conduit V.

Un tuyau R amène le liquide dans le récipient B, où l'eau de chaux, en réagissant sur l'eau à épurer, précipite les carbonates alcalino-terreux.

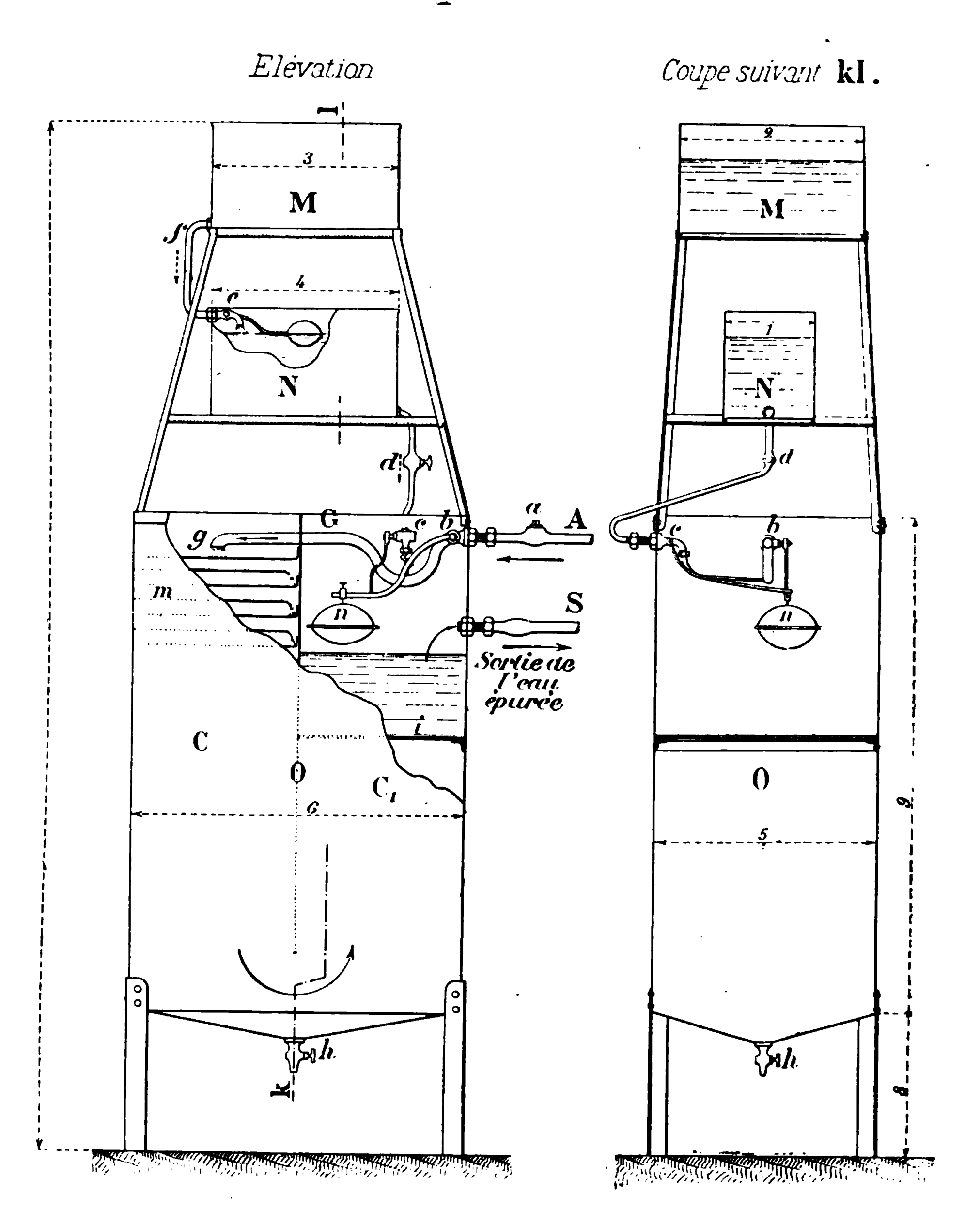


Fig. 86. — Epurateur de la Société Maignen (vue élévation).

Fig. 87. — Epurateur de la Société Maignen (vue profil).

L'eau, une fois épurée, traverse le filtre F, sort par le conduit central et passe dans le tuyau Z.

Afin d'éviter l'encrassement du filtre du réservoir B, où se fait le dépôt, une brosse frotte sur les parois filtrantes.

Pour éliminer les sulfates, il s'agit d'introduire des réactifs appropriés.

De cette façon, le mélange d'eau à épurer et de réactif circule sur les chicanes, en parcourant chacune d'elles dans toute son étendue, et toujours dans un sens opposé d'une chicane à l'autre.

Par cette disposition, les matières en suspension et précipités se déposent facilement, et de plus, pour augmenter leur retenue, on place des fibres de bois entre deux chicanes consécutives.

L'eau épurée s'écoule par la partie inférieure du compartiment C et pénètre par le bas dans le compartiment C_1; cette eau, en montant, traverse une cloison *i* en amiante pour la clarification.

Finalement, l'eau épurée sort par le conduit latéral S; un flotteur *n* suit les mouvements de l'eau épurée et commande, en même temps, les robinets *c* et *b* d'admission du réactif et de l'eau à épurer.

Enfin un robinet de vidange sert à l'évacuation.

Épurateur de la Société du filtre Maignen. — Cet épurateur se compose essentiellement d'un bac, de préparation de réactif M, pourvu d'un tuyau *f*, à sa base, ayant pour but de conduire le réactif dans un réservoir N servant à le conserver.

L'arrivée du réactif dans le réservoir N est arrêtée automatiqnement, suivant le niveau du liquide qui y est contenu, par un robinet flotteur *e*.

A la partie inférieure du réservoir N, un tuyau *f* conduit le réactif, dont le débit est réglé par un robinet *x*, dans une goulotte G, et là il se mélange avec l'eau à épurer venant par le conduit A, son admission étant réglée par le robinet *x*.

Le mélange d'eau à épurer et de réactif sort par l'extrémité S de la goulotte G; ensuite il vient tomber dans le

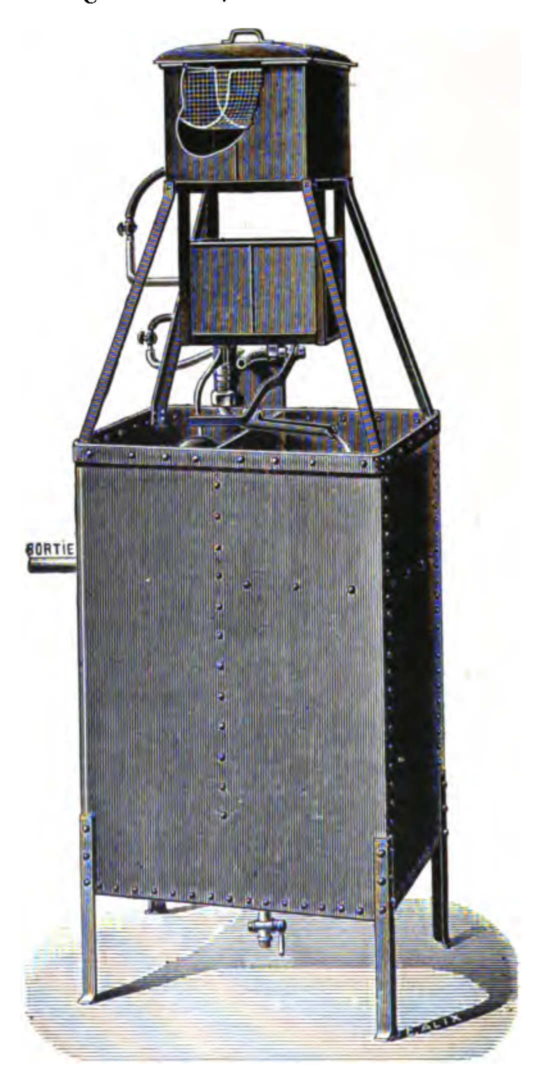


Fig. 88. — Epurateur de la Société Maignen (vue extérieure).

compartiment C du réservoir O à réaction et clarification, où le précipité et les matières en suspension se déposent.

Une série de tablettes, dont les bords sont peu élevés et

abaissés aux extrémités opposées en forme de Z, sont disposées en chicanes.

Chaque chicane est échancrée, vers l'une de ses extrémités, pour permettre le passage de l'une à l'autre, mais de telle façon que deux chicanes qui se succèdent portent leur échancrure aux extrémités opposées.

Epurateur à froid, système Buron. — Dans cet épurateur, l'eau brute arrive par un conduit A dans un bac N servant à la distribuer au moyen de deux robinets 3 et 4.

Le robinet 4 permet l'écoulement de l'eau sur de la chaux placée dans un panier métallique destiné à retenir les parties qui ne se dissolvent pas, telles que des pierres.

La chaux est entraînée par l'eau dans le tube central d'un saturateur D, où s'effectue un brassage énergique par un malaxeur, muni de deux palettes qui tournent à l'intérieur.

Ce malaxeur fonctionne, grâce à une roue à augets K qui reçoit un courant d'eau lui arrivant par le robinet numéroté 3 du réservoir distributeur N.

Ainsi brassé, le lait de chaux arrive par le tube central à la base du saturateur et remonte, dans l'espace intermédiaire formé avec le cylindre extérieur, pour se déverser à la partie supérieure par le conduit T.

Dans le compartiment M du bac distributeur, on prépare chaque jour la solution de soude, qui est distribuée dans un petit réservoir G, et de là par un robinet elle s'écoule par un conduit R.

Le lait de chaux et la soude arrivent donc par leurs conduits respectifs en T et en R, en contact de l'eau à épurer qui s'échappe en S, dans la partie supérieure d'une colonne centrale, pour se déverser dans le mélangeur.

Dans ce mélangeur, les réactions se produisent et les sels de l'eau se précipitent.

L'eau descend à la partie inférieure de l'appareil, puis

remonte dans l'intervalle formé par le cylindre extérieur,

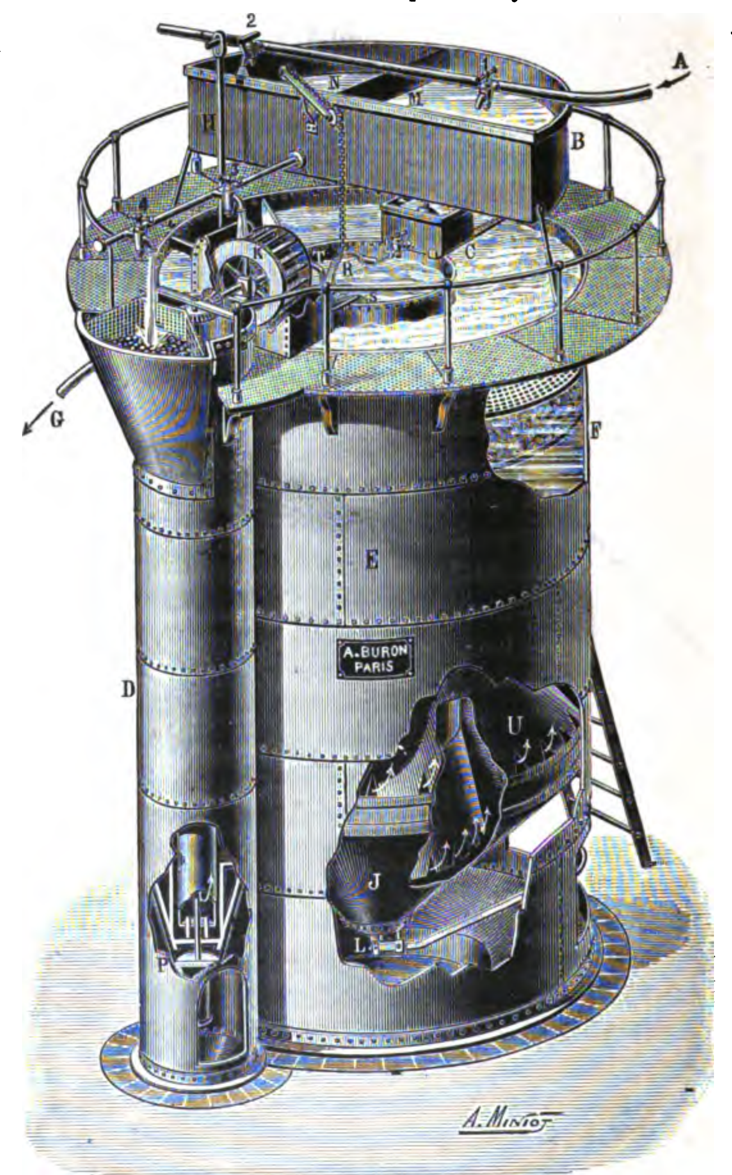


Fig. 90. — Epurateur à froid système Buron.

en se brisant contre des chicanes, qui ralentissent le mouvement ascensionnel et facilitent le dépôt des précipités.

Enfin l'eau épurée se clarifie en passant par un système de filtre F, et de là s'écoule claire dans un compartiment spécial, pour sortir par l'orifice G.

Ajoutons que tous les débits d'eau et de réactifs sont réglés par un flotteur principal H qui commande les divers robinets d'écoulement.

Quant aux dépôts formés, ils sont évacués par une soupape de vidange L, située à la base de l'appareil.

Epurateur à froid Henri Carpentier. — Cet épurateur est constitué par un réservoir cylindrique A dans lequel se meut un flotteur C, qui suit les mouvements de l'eau épurée dans le réservoir.

Le flotteur C commande le robinet B d'admission de l'eau brute, qui arrive par le conduit D à un tuyau principal distribuant l'eau dans la cuvette centrale L par la colonne descendante D et dans deux vases mesureurs E.

L'eau s'écoule de ces vases mesureurs dans deux bacs à réactifs F munis d'agitateurs; les réactifs une fois préparés se déversent dans des tuyaux de trop-plein et vont au fond d'une cuvette centrale L.

Cette cuvette reçoit donc les réactifs et l'eau brute, qui se mélangent et se déversent par la partie supérieure de la cuvette dans une cuvette extérieure M, enveloppant la première, et qui est supportée par un tube N descendant à une certaine distance du fond du réservoir A.

Des chicanes O sont disposées à l'intérieur de ce tube N, où l'eau, en traitement, circule, se débarrasse des corps précipités, qui tombent au fond du réservoir et sont évacués par un robinet de vidange P.

L'eau remonte lentement et termine son traitement par une filtration, de bas en haut, à travers la couche filtrante R, et se déverse épurée et clarifiée par le tuyau S.

Par le dispositif du robinet flotteur, l'eau n'arrive seulement qu'une fois que celle qui est contenue dans le réser-

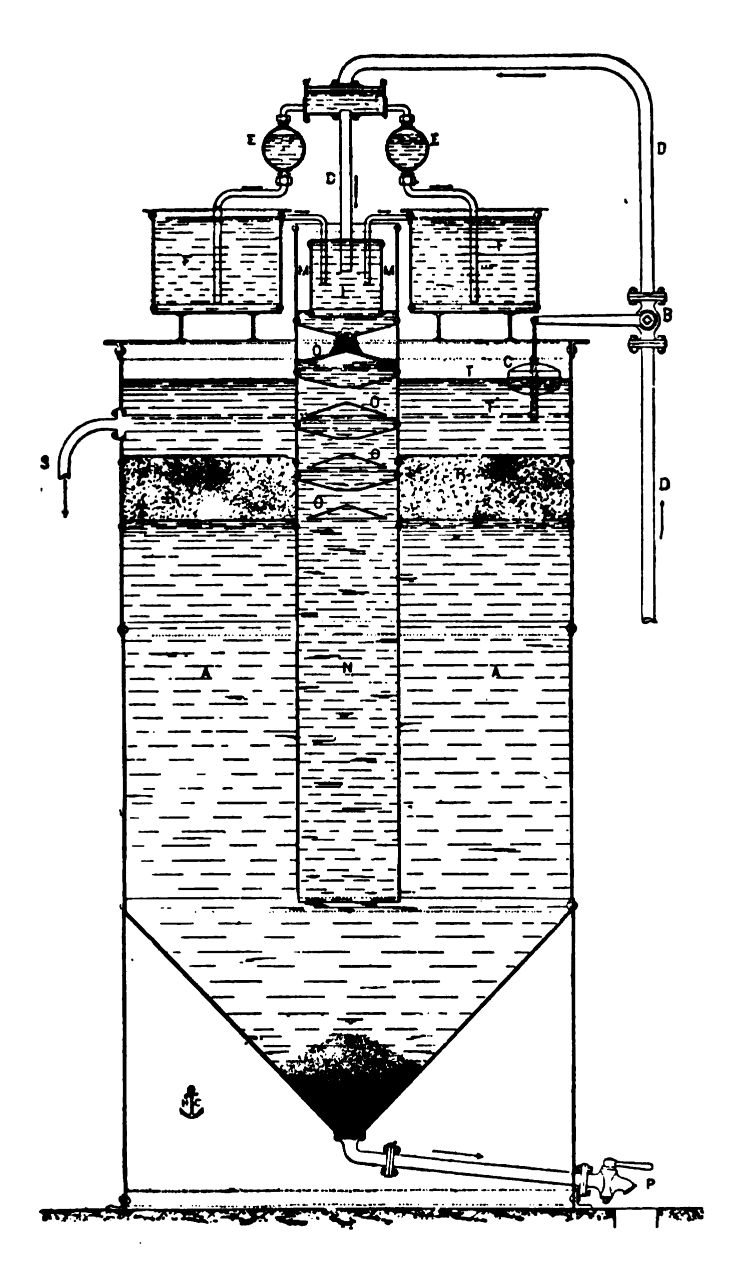


Fig. 90. — Epurateur à froid Henri Carpentier.

voir a diminué d'une quantité déterminée et voulue, ce qui permet de régler l'écoulement proportionnel des réactifs de l'eau à épurer; le remplissage des vases mesureurs E s'effectuant en même temps que celui de la cuvette centrale L, par la colonne descendante D.

Epurateur à froid Howatson. — Le réactif eau de chaux est préparé, d'une façon continue, dans un bac spécial K ou saturateur, représenté à gauche de la figure.

Ce saturateur K, de forme cylindrique, renferme intérieurement un autre cylindre M, qui contient, dans sa partie supérieure, un récipient percé de trous, dans lequel on place la chaux servant à confectionner le réactif.

Un robinet automatique A, commandé par un flotteur, permet de distribuer l'eau à épurer dans le compartiment B.

Après s'être déversée dans ce compartiment, l'eau est reprise par une valve B, commandée par un flotteur, et ensuite passe dans un tuyau qui l'amène à un orifice F, formé d'un bouchon percé d'un trou et réglé suivant le débit demandé.

L'eau, employée à la préparation du réactif, continue son chemin au-delà du point F et sort par l'orifice G, réglé suivant la quantité d'eau de chaux nécessaire à l'épuration, pour tomber sur la chaux, qu'elle entraîne dans le cylindre intérieur M.

Quant à l'eau à épurer, elle se déverse par l'orifice F sur une roue H à augets, qui, par l'intermédiaire d'une roue et d'une vis sans fin, actionne un arbre vertical, suivant l'axe du saturateur K.

Cet arbre porte des ailettes, destinées à agiter convenablement le mélange d'eau de chaux.

Les particules solides tombent dans le fond du cylindre M et se décantent.

L'eau de chaux se clarifie et remonte dans l'espace annu-

laire compris entre les deux cylindres M et K, et sort, par la

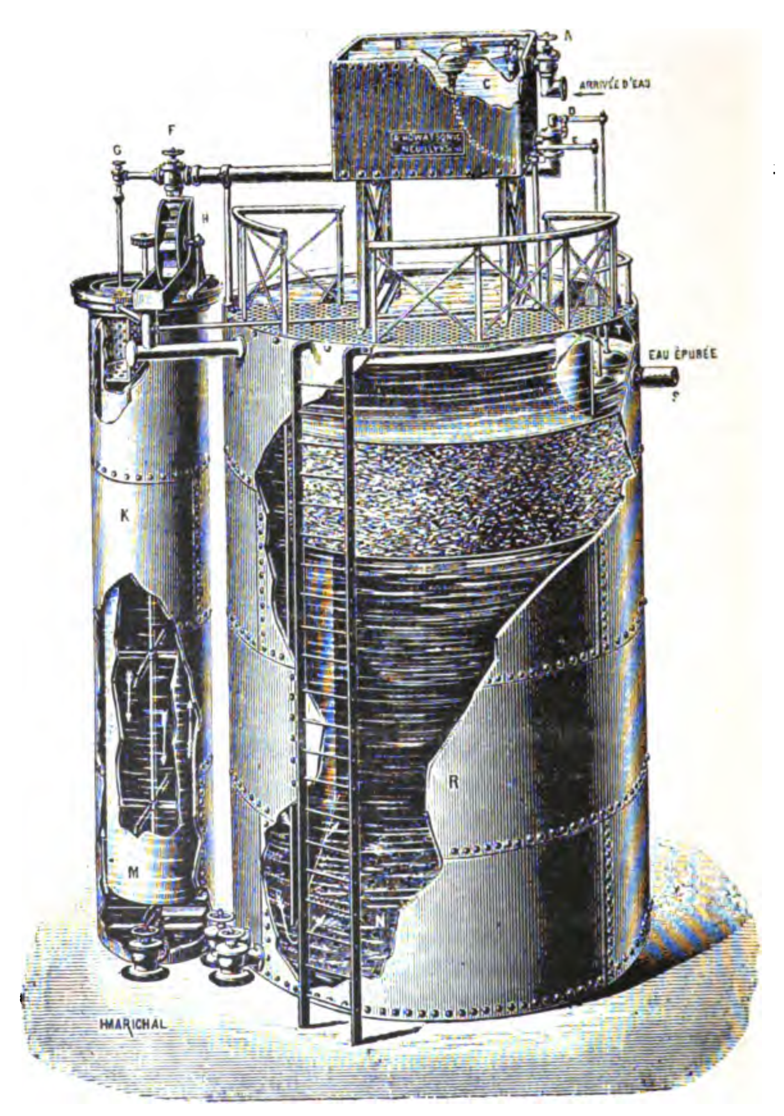


Fig. 91. — Epurateur à froid Howatson.

partie supérieure du saturateur K dans un tuyau latéral qui l'amène dans le même conduit, en forme de T, où se déverse

l'eau à épurer, après être sortie de l'orifice F et être tombée de la roue à augets H.

Ainsi mélangée à l'eau de chaux, l'eau à épurer précipite ses sels en solution et passe dans la partie supérieure du gros cylindre R ou décanteur.

Après s'être débarrassée de ses sels alcalino-terreux, dans le réservoir de décantation R, l'eau traverse une couche épaisse de fibres de bois, où elle abandonne ses particules solides en suspension et subit, de ce fait, une véritable filtration.

L'eau épurée et clarifiée se trouve renfermée dans la partie supérieure et sort par un conduit spécial S.

Dans le cas où la nature de l'eau demanderait l'emploi d'un deuxième réactif, comme le carbonate de soude, la préparation de ce réactif se ferait automatiquement dans le compartiment C du bac supérieur et se déverserait, suivant les besoins, dans le même tube en T, où s'effectue le mélange de l'eau de chaux et de l'eau à épurer.

L'écoulement de l'eau à épurer du réactif eau de chaux et enfin du carbonate de sodium se fait d'une façon automatique, par les robinets D et E, commandés par des flotteurs, suivant les variations de niveau du liquide.

Enfin des robinets de vidange facilitent l'enlèvement des boues déposées dans le saturateur et dans le décanteur.

Epurateur système Froitzheim, pour traitement mixte. — L'épurateur système Froitzheim est spécialement construit pour effectuer un traitement mixte des eaux, non seulement par les réactifs, mais encore par la vapeur.

Un flotteur S suivant les variations du niveau de l'eau dans un grand réservoir I donne l'admission de l'eau brute par un tube W.

Cette eau brute tombe dans une double auge à balance M qu'elle actionne par son propre poids.

Les mouvements alternatifs de l'auge sont transmis par deux leviers, à un arbre horizontal, qui commande un élévateur H à godets.

Ces godets élèvent la solution de réactif, ici du carbonate

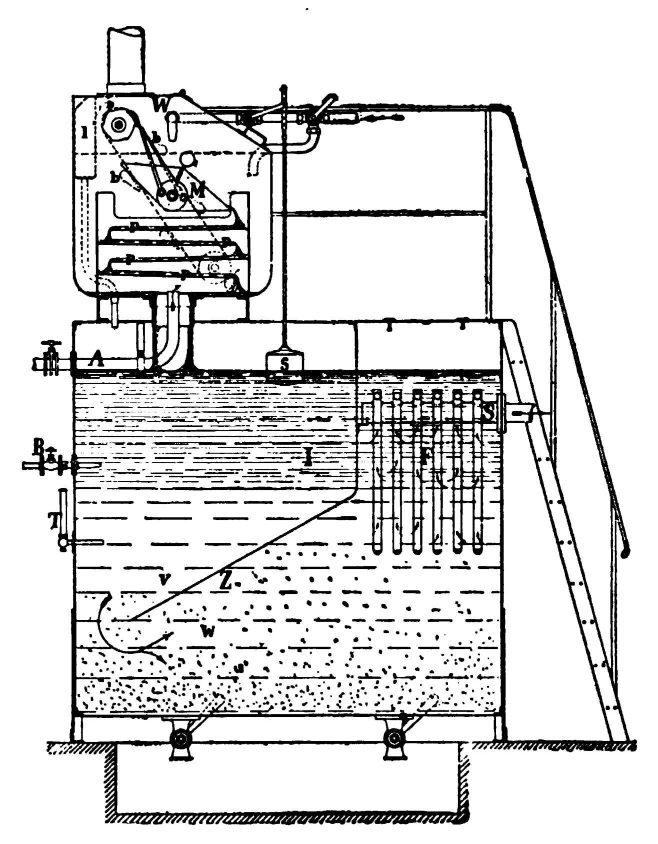


Fig. 92. — Epurateur pour le traitement mixte des eaux, système Froitzheim.

de soude, contenue, dans un petit bassin et la déverse en faible portion dans un entonnoir *l*, d'où elle s'écoule par un tuyau dans le grand réservoir I.

Le débit de la soude, par les godets qui suivent les mouvements de l'auge, M à balance, est donc proportionnel à l'entrée de l'eau à épurer.

Pour compléter cette épuration chimique, un réchauf-

feur *pp* basé sur le principe du contre-courant reçoit la vapeur d'échappement par un tuyau d'arrivée A, suivant la flèche indicatrice.

L'eau, à la sortie du réchauffeur, tombe dans le grand réservoir I qui est divisé en deux compartiments V et W, par un diaphragme Z, servant à réduire la vitesse du liquide et à faciliter le dépôt des corps précipités.

Quant à la solution de carbonate de soude, qui se déverse par l'entonnoir *l* dans le réservoir I, un jet de vapeur, réglé par une soupape B permet de la mélanger convenablement à l'eau à épurer.

Enfin, après avoir contourné le diaphragme, l'eau se clarifie à travers le filtre composé d'une série de cadres de toiles qui peuvent être enlevés séparément, pour faciliter le nettoyage.

A la sortie de ce filtre, l'eau s'écoule par le tuyau S épurée et clarifiée.

NOTES COMPLÉMENTAIRES SUR QUELQUES APPAREILS DE TRAITEMENT DES EAUX PAR LA VAPEUR

Dans la deuxième partie de cet ouvrage, dans le chapitre II relatif à « l'eau d'alimentation des générateurs de vapeur », nous avons examiné un certain nombre d'appareils de traitements préalables des eaux par la vapeur.

Quelques-uns de ces appareils n'ayant pu figurer dans ce chapitre, par suite du travail avancé de composition, nous allons les étudier maintenant dans une note complémentaire.

Epurateur - réchauffeur d'eau d'alimentation Paul Barbier. — L'épurateur d'eau d'alimentation Paul Barbier se compose essentiellement d'une série de tronçons en fonte superposés, dont les fonds sont formés par des disques mobiles en tôle perforée.

Ces disques mobiles sont garnis d'une couche filtrante assez épaisse de matières telles que : du coke, de la pierre ponce, du laitier, du mâchefer, etc., qui facilitent de plus le contact de la vapeur et la retenue des précipités.

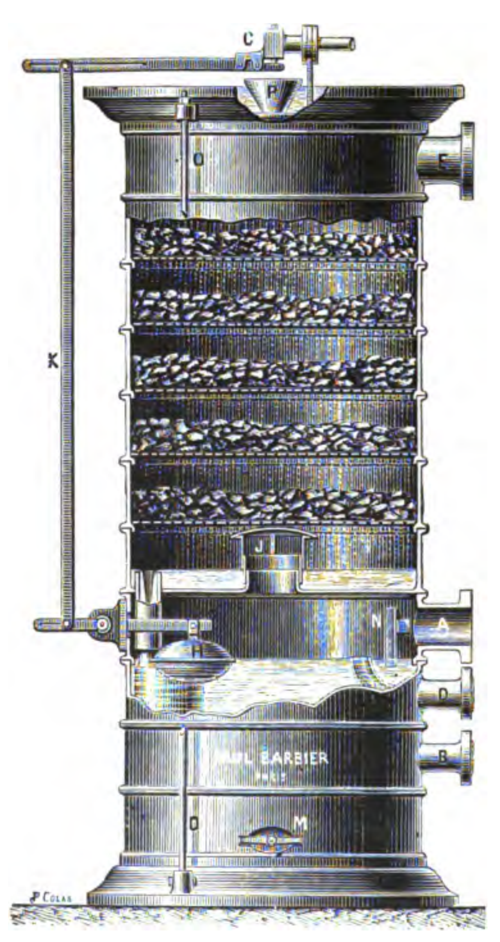


Fig. 93. — Epurateur-réchauffeur Paul Barbier.

L'eau pénètre dans l'appareil par un robinet d'admission C dépendant d'un flotteur H, suivant les mouvements de l'eau dans l'appareil, et qui lui transmet son mouvement par l'intermédiaire de la tige verticale K.

En sortant du robinet C, l'eau brute coule dans l'entonnoir P qui la distribue le plus régulièrement possible par un dispositif spécial sur le filtre supérieur, puis passe à travers les différentes couches filtrantes pour arriver au réservoir inférieur constituant la chambre d'eau.

La vapeur provenant de la machine arrive par la tubulure extérieure A, rencontre une boîte de séparation et d'évacuation des graisses et de là, arrivant au-dessus de la chambre à eau, monte de filtre en filtre avec la vapeur qui se trouve en J.

Ces matières filtrantes clarifient l'eau, qui se débarrasse de ses corps précipités ; ces derniers sont évacués par un robinet de vidange situé au-dessous de l'appareil.

L'eau clarifiée et chauffée est aspirée par une pompe par la tubulure B qui se trouve au milieu de la chambre à eau. Un trop-plein D permet d'avoir un niveau maximum dans la chambre à eau, et le nettoyage de l'appareil peut se faire par le tampon M.

Le démontage des tronçons est facilité par trois tiges O à boulons qui les maintiennent serrés et permettent de procéder avantageusement au nettoyage des plateaux et de la matière filtrante.

Epurateur-réchauffeur Henri Carpentier. — L'eau brute arrive dans un grand réservoir A par la conduite principale T.

Cette eau brute tombe dans u ie bâche d'alimentation au moyen du tuyau O dont l'orifice inférieur est muni d'un robinet avec flotteur qui suit les variations de l'eau dans la bâche.

La vapeur d'échappement de la machine est envoyée vers la bâche d'alimentation, dans une petite caisse R ou détendeur, dans laquelle elle se débarrasse des matières grasses provenant du graissage qu'elle aurait pu entraîner.

Ces huiles s'écoulent lentement par le tuyau D et sont recueillies dans un petit réservoir de décantation F.

Ainsi débarrassée des matières grasses, la vapeur monte par le tuyau H dans un autre détendeur B de grande capacité constitué par un cylindre vertical, terminé à ses deux extrémités par deux cônes. Le cône supérieur est ouvert à son extrémité et communique avec l'air libre par un tuyau vertical traversant l'eau du réservoir A.

Quant au cône inférieur, son extrémité communique avec un tuyau P se rendant au sol et muni d'un robinet d'évacuation. L'eau à épurer est prise par une petite pompe centrifuge L à la partie inférieure de la bâche alimentaire;

cette eau est refoulée dans la colonne E, puis déversée en pluie dans le détendeur B, où elle rencontre la vapeur venant du conduit H.

Les sels de l'eau sont dissociés (carbonates alcalino-ter-

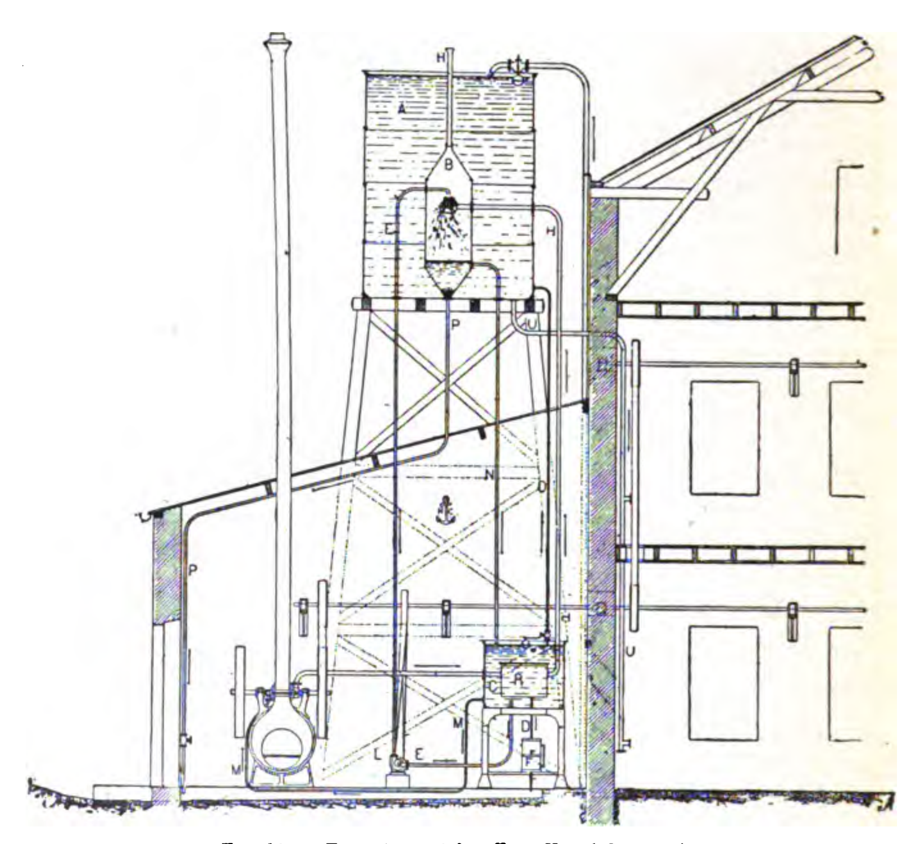


Fig. 94. — Epurateur-réchauffeur Henri Carpentier.

reux) et se déposent dans le cône inférieur du détendeur B.

Le bas du cône de ce détendeur s'emplit donc d'eau épurée, qui se déverse par le tuyau N dans la bâche alimentaire et de là se rend à la machine par le tuyau M.

Epurateur-bouilleur automatique Dervaux. — L'épurateur-bouilleur automatique Dervaux a pour but de

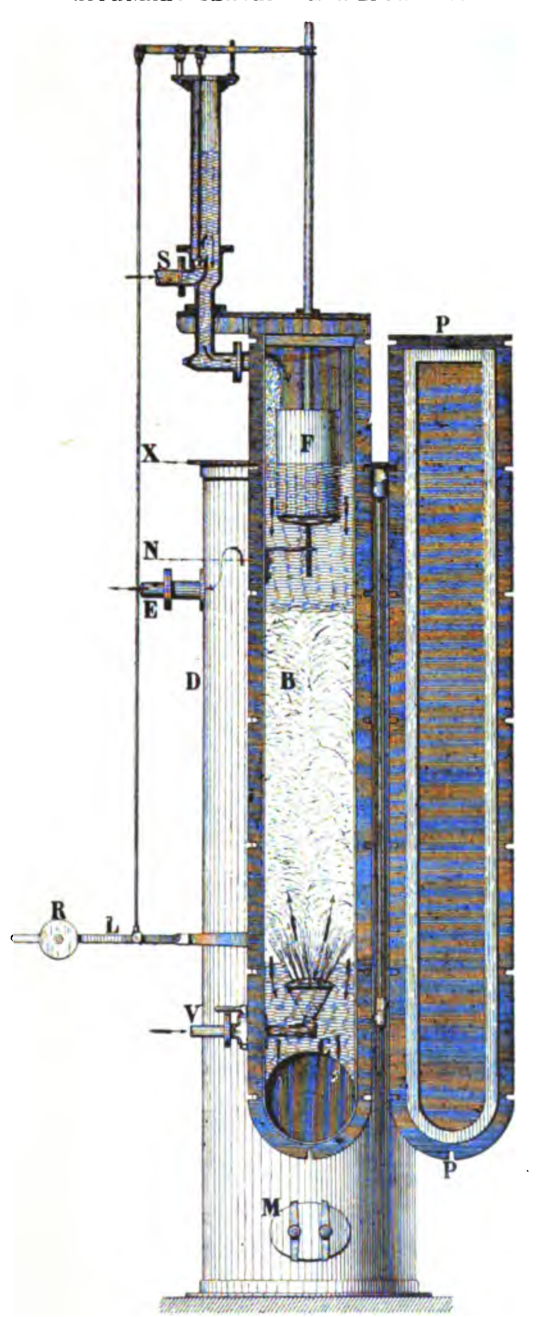


Fig. 95. — Epurateur-bouilleur automatique Dervaux.

faire descendre en colonne l'eau à épurer dans un tube bouilleur droit et allongé, à l'encontre d'un courant de vapeur.

Cet appareil se compose d'un tube bouilleur vertical B ouvert dans l'atmosphère recevant l'eau brute d'un réservoir supérieur par une soupape S.

Il se forme une colonne d'eau descendant dans le tube bouilleur étroit B qui rencontre un courant de vapeur venant d'une tubulure V, en sens inverse, par un mouvement ascensionnel.

Le courant de vapeur, en barbotant dans l'eau, décompose les carbonates alcalino-terreux et entraîne l'acide carbonique à la surface de l'appareil, qui se dégage librement.

Dans la partie supérieure du tube bouilleur, la vapeur d'eau en contact avec l'eau froide brute, renouvelée continuellement, se condense, et les carbonates précipités se déposent.

L'eau chaude épurée passe par la tubulure inférieure C dans un réservoir décanteur D, dans lequel elle s'élève lentement en abandonnant les carbonates précipités.

Enfin l'eau épurée s'écoule par la tubulure de trop-plein E, dans un réservoir quelconque.

Un simple flotteur F commandant la soupape d'arrivée d'eau S permet de régler l'intensité de l'ébullition ainsi que le débit de l'appareil.

Pour nettoyer ou visiter le tube bouilleur, il suffit d'ouvrir la porte P; quant aux dépôts, qui se trouvent dans le réservoir décanteur D, ils sont extraits périodiquement par la porte M.

Epurateur-réchauffeur Granddemange. — L'épurateur-réchauffeur, système Granddemange, construit par Mazeran et Sabron, est constitué par une série de réservoirs ou cuves en tôles superposées, formant l'élément essentiel de l'épurateur destiné à recevoir les dépôts de tartre.

Une série d'anneaux *b*, maintenus par des tiges O et ser-

rés par des écrous, forment, par superposition, l'enveloppe extérieure de l'appareil.

L'eau froide à épurer pénètre dans l'appareil par le robinet *f*, actionné par le bras de levier du flotteur *h*, suivant le niveau de l'eau épurée contenue dans la cuve ou bâche *c*.

La vapeur pénètre dans l'intérieur de l'appareil et se débarrasse des matières grasses au moyen d'un dégraisseur *g*.

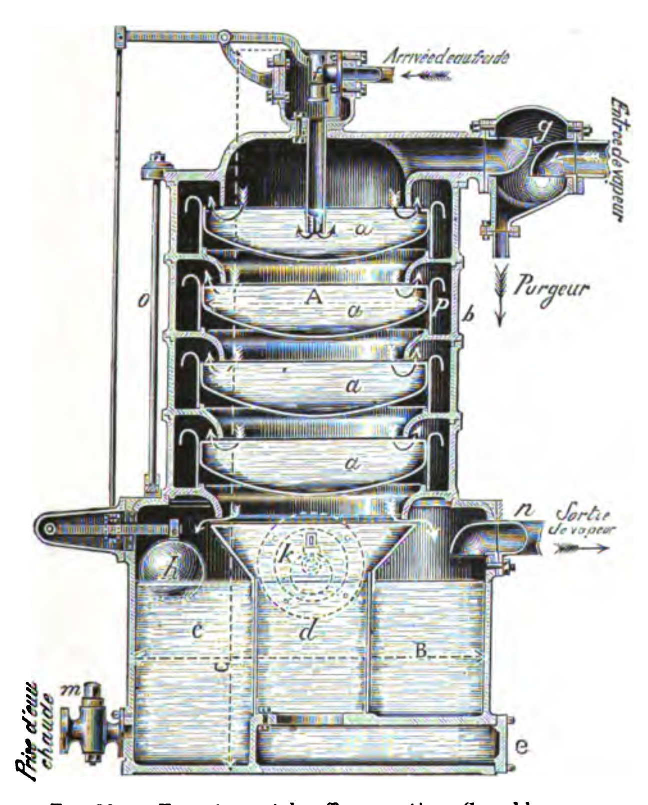


Fig. 96. — Epurateur-réchauffeur système Granddemange.

En arrivant sur le premier plateau *a* et en se répandant en nappe l'eau rencontre la vapeur qui la réchauffe, la porte à la température de dissociation des sels alcalino-terreux (carbonates) qui commencent à se déposer dans la cuve détartrante supérieure.

L'eau réchauffée passe par-dessus la première cuve *a* et traverse l'espace compris entre cette cuve *a* et le tronçon d'une enveloppe *b*, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière cuve *a*.

Dans cette marche, l'eau rencontre la vapeur, et les sels se déposent dans la série de cuves détartrantes *a*.

Finalement l'eau tombe dans la cuve de décantation *d*, dont la largeur provoque un ralentissement, et les sels se déposent.

L'eau épurée, décantée et chaude, sort du trop-plein K pour passer dans le réservoir *c*, où une prise d'eau sert à sa distribution.

Par la tubulure *n*, la vapeur en excès s'échappe, et les dépôts qui se trouvent dans la cuve de décantation *d* peuvent être enlevés par le tampon de nettoyage *e*.

Remarque. — 1° Les différents appareils de traitement des eaux que nous avons examinés dans cet ouvrage trouvent leur application non seulement dans les générateurs de vapeur, mais encore dans les différentes industries qui réclament de l'eau épurée ;

2° Par le traitement des eaux au moyen de la vapeur, l'épuration porte sur les carbonates alcalino-terreux de l'eau; quant aux sulfates alcalino-terreux, on peut les précipiter en faisant une addition de soude, ou d'un réactif approprié dans l'épurateur.

CHAPITRE IV

FILTRES INDUSTRIELS

Les filtres sont des appareils ayant pour but de clarifier les liquides, en les faisant passer au travers des corps poreux, destinés à retenir les matières en suspension.

Comme matière filtrante, on emploie des substances minérales, animales ou végétales.

Le gravier, le silex concassé, le coke et le sable forment surtout l'apport des substances minérales dans les filtres industriels; ajoutons encore la pierre ponce, des pierres calcaires poreuses et l'amiante en fibre ou en toile.

Quant aux matières animales, on fait usage de feutre, d'éponges, de laine tontisse ou d'étoffe de laine et de noir animal.

Parmi les substances végétales, l'étoupe, la sciure et les fibres de bois, la paille, le charbon de bois et le coton sont surtout employés.

Les filtres industriels sont composés d'une ou plusieurs de ces matières filtrantes et sont alimentés d'eau, soit par la partie inférieure, soit par la partie supérieure.

Filtre David. — Le filtre David se compose essentiellement d'un récipient en fonte, muni de deux robinets, l'un à sa partie supérieure pour l'admission de l'eau, et l'autre à la partie inférieure pour l'écoulement de l'eau filtrée.

Un couvercle boulonné permet de fermer le récipient, dans lequel se trouvent superposées différentes couches de

matières filtrantes supportées, par une tôle perforée; puis une tôle semblable recouvre ces matières.

En haut se trouve d'abord une couche d'éponges, ensuite vient une couche de grès, de la laine tontisse, après cela

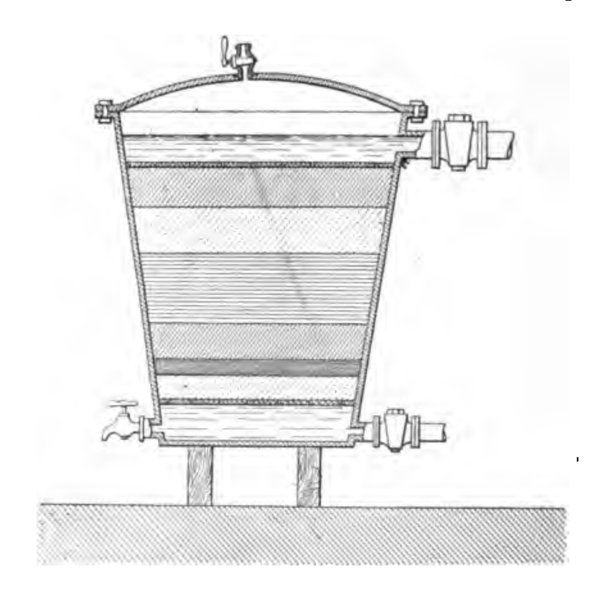


FIG. 97. — Coupe du filtre David.

une couche de noir animal ou de charbon de bois concassé, et finalement du sable ou du gravier fin.

Pour nettoyer le filtre, il suffit de renverser le courant d'alimentation de l'eau.

Filtre H. Desrumaux. — Dans cet appareil, l'eau arrive par un tuyau B, qui longe le filtre dans toute sa longueur et se déverse, par un godet d'introduction E, dans un conduit central T.

L'eau tombe sur un plateau diviseur P qui la distribue sur une couche de silex, reposant sur un châssis métallique supporté lui-même par une pièce en fonte de forme tronconique.

L'eau traverse donc la couche de silex par la partie supé-

rieure; elle abandonne dans son parcours toutes les particules en suspension; finalement, elle sort, claire, sous le châssis métallique et passe par les ouvertures, disposées en chicanes, du support conique, pour être distribuée selon les besoins.

Au fur et à mesure de l'abandon des particules solides

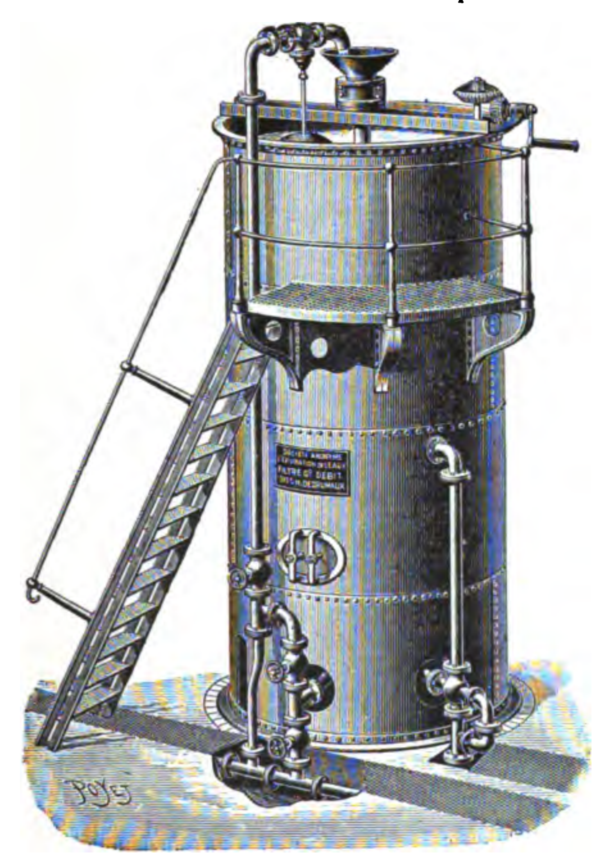


Fig. 98. — Filtre à grand débit, système H. Desrumaux (vue extérieure).

de l'eau à travers les couches de silex, les dépôts s'accumulent et, au bout d'un temps prolongé, appellent un nettoyage du filtre.

En s'accumulant, l'eau trouve un obstacle dans son passage à travers les couches de silex; elle est alors sollicitée

à monter dans la capacité supérieure, et, dans son ascension, elle finit par atteindre un flotteur F, qui interrompt automatiquement l'arrivée de l'eau à filtrer, car ce flotteur commande un clapet D, branché sur la conduite d'eau B d'alimentation du filtre.

Pour procéder au nettoyage du filtre, on ferme d'abord la vanne V d'arrivée de l'eau; on laisse filtrer, ou bien on purge par le robinet R à deux voies la capacité située au-dessus de la matière filtrante.

On renverse ensuite le courant; pour cela, on ferme la vanne V″ et on ouvre la vanne V′, qui permet à l'eau de monter par le fond du filtre; cette eau, dans son ascension, rencontre le support tronconique, qui la divise et traverse la couche de silex de bas en haut.

Pendant que l'eau arrive avec force dans l'intérieur de l'appareil, on manœuvre une manivelle ayant pour but d'entraîner un grand disque, dont les armatures labourent en tous sens la couche de silex; ce disque est fixé sur le tube central, que supporte un coussinet à billes C.

Toutes les particules solides, déposées, sont donc sollicitées à se mettre en suspension; elles montent alors vers la partie supérieure du filtre, et, pour les évacuer, on vide la capacité libre située au-dessus du silex, en ouvrant le robinet à deux voies R, et le filtre est alors prêt à fonctionner de nouveau.

Filtre continu automatique Dervaux. — Dans ce filtre, l'eau brute est amenée par un tuyau A, dans la cheminée B, puis dans une chambre close C, et de là passe au travers d'une couche de gravier F reposant sur une tôle perforée P.

Après avoir rempli le réservoir V, l'eau s'élève dans la cheminée K, se déverse dans une capacité R, atteint le niveau supérieur N et s'écoule, au fur et à mesure, par le déversoir D, et enfin par le tuyau de sortie de l'eau filtrée E.

Si les boues déposées sur les couches filtrantes sont en

trop grande quantité, le nettoyage se produit alors automatiquement.

L'eau, ne trouvant plus passage dans la matière fil-

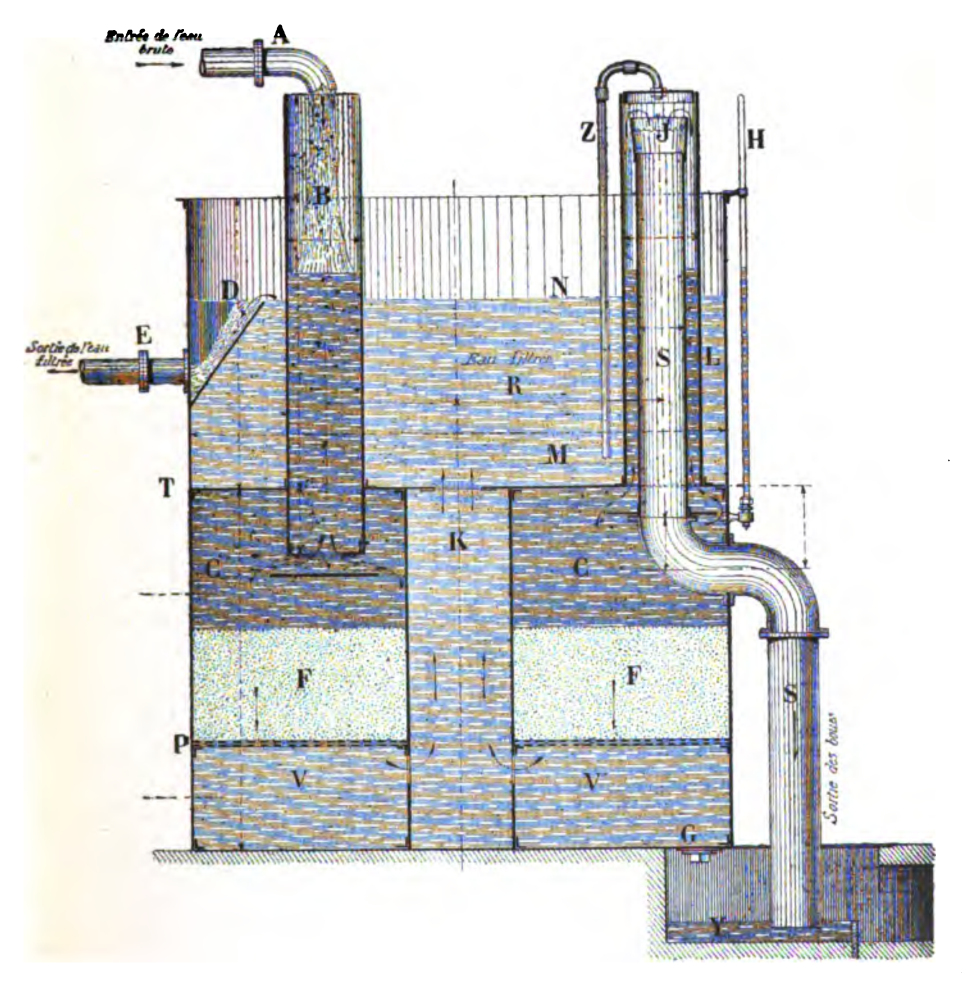


Fig. 99. — Filtre continu automatique Dervaux.

trante, monte de la chambre close C dans une cheminée L communiquant avec cette chambre.

Arrivée à la partie supérieure J, l'eau tombe dans un tube central S, formant syphon, une fois amorcé, l'eau

coule fortement, en provoquant une aspiration violente qui entraîne d'abord toutes les boues dans le tube S d'évacuation, et ensuite l'eau filtrée du réservoir R traverse la couche filtrante de bas en haut et soulève les dépôts boueux, qui sont éliminés par la cheminée S.

Enfin la partie supérieure de la cloche L du syphon S communique par un tuyau recourbé Z avec la partie inférieure du réservoir R jusqu'au niveau M.

Quand le niveau baisse dans le réservoir R jusqu'en M, le syphon se désamorce, et le filtre, ainsi nettoyé automatiquement, reprend sa marche normale.

Filtre Delhotel et Moride. — Ce filtre est constitué par un cylindre en tôle, fermé par un couvercle, dans

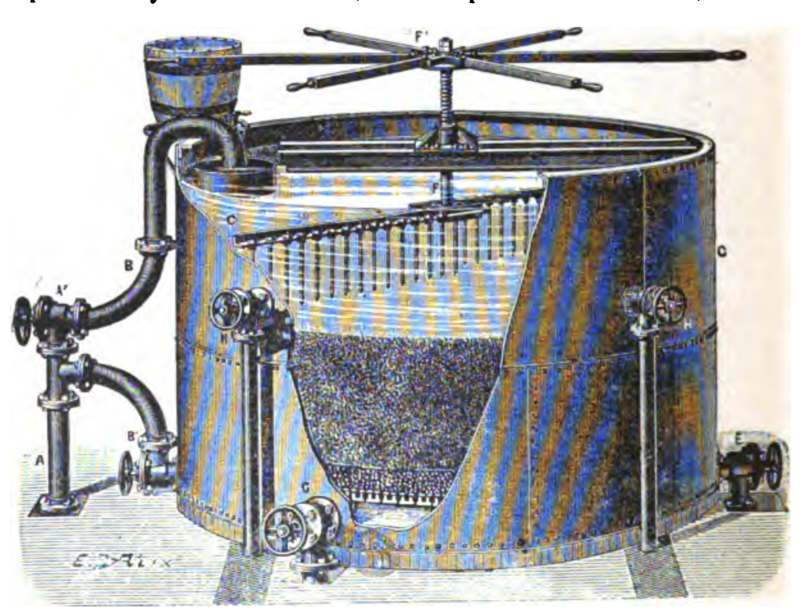


Fig. 100. — Filtre industriel Howatson.

lequel on place la matière filtrante; sable quartzeux, jusqu'aux 2/3 de sa hauteur.

Des ajutages courbes permettent à l'eau d'arriver dans le filtre, en provoquant un mouvement de giration.

L'eau, en remuant ainsi la couche supérieure de sable, retarde le dépôt du limon et des matières en suspension, et, par suite, le fonctionnement du filtre dure plus longtemps.

Pour nettoyer le filtre dans sa partie supérieure, il suffit d'ouvrir un robinet, situé à sa base, branché sur un tube central.

L'eau s'échappe par ce tube central en pénétrant dans un entonnoir, elle entraîne avec violence les particules solides de la matière filtrante, et le filtre fonctionne normalement en fermant le robinet placé à la partie inférieure.

Si l'on veut pratiquer le nettoyage des couches inférieures, on ouvre le robinet, on fait alors arriver l'eau sous le sable par un courant inverse; par suite le sable est soulevé, et les matières qui s'étaient déposées sont entraînées et évacuées.

On ferme ensuite ce même robinet, et le filtre est prêt à fonctionner de nouveau; on ouvre un robinet de purge spécial, à deux voies, pour évacuer les premières eaux troubles, puis, une fois que l'eau passe claire, on fait passer l'eau filtrée dans un conduit particulier par un dernier robinet qui est fixé sur ce conduit.

Ajoutons que M. Moride, dans son traité sur la fabrication des savons, recommande ce filtre, en savonnerie, qui, de plus, est muni d'un système de tuyautage et de robinets permettant son nettoyage, soit par de l'eau brute, soit par de l'eau filtrée.

Filtre Howatson. — Le filtre Howatson se compose d'un réservoir cylindrique métallique C, dans lequel l'eau à filtrer arrive dans la partie supérieure par le tuyau A et le robinet d'admission A′.

Cette eau traverse une couche filtrante D de silex concassé, de grosseur convenable, supportée par un double fond rainé, en fonte, sur lequel se trouve un grand nombre de trous, de 4 millimètres de diamètre, dont la somme

présente une ouverture de surface égale à celle du robinet de sortie E.

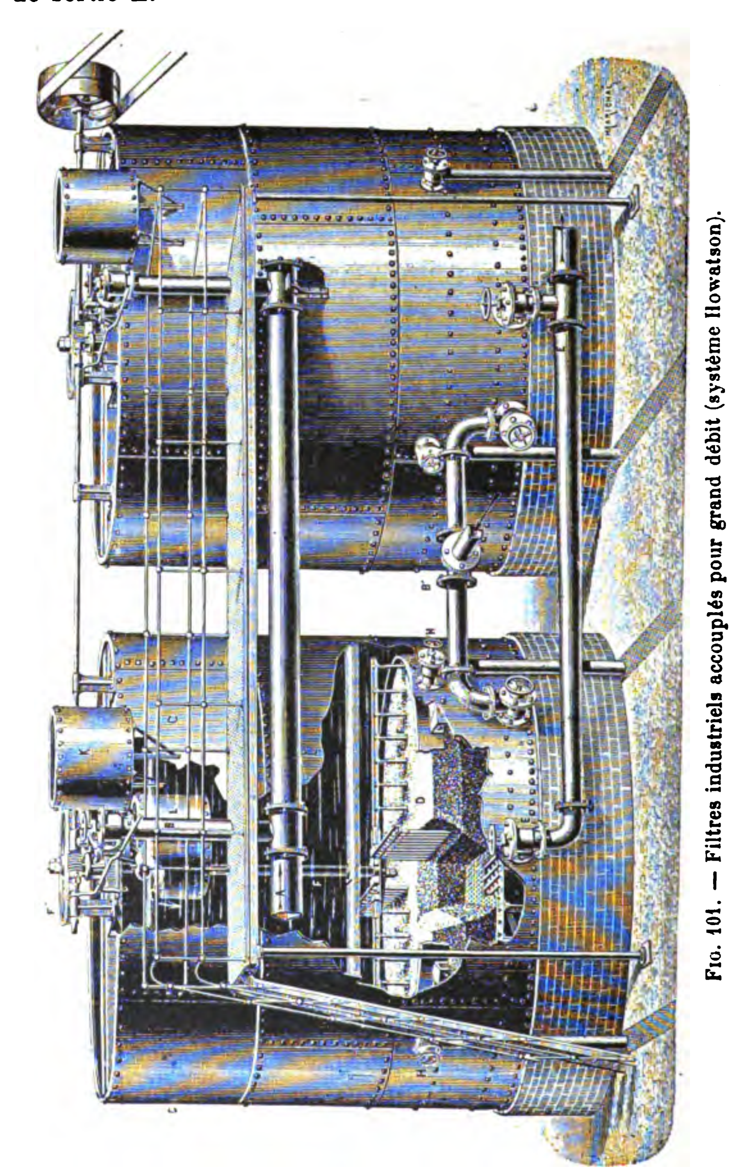


Fig. 101. — Filtres industriels accouplés pour grand débit (système Howatson).

Dans son passage à travers la couche filtrante, l'eau se débarrasse de ses matières en suspension et sort claire, par

l'ouverture munie du robinet E, pour servir aux besoins de la consommation.

Le nettoyage du filtre se fait en fermant le robinet A′ et en ouvrant le robinet B′; de cette façon, l'eau afflue par la partie inférieure et, dans son ascension, dégage les matières déposées et les entraîne à l'intérieur par les vannes H et H′, qu'on a soin de tenir ouvertes.

On facilite le nettoyage, au moyen d'un brasseur F, qui est mû par un cabestan F′.

Ce brasseur est formé d'une vis, à laquelle sont fixés des bras portant des palettes, qu'on abaisse pour le nettoyage et qu'on élève pendant le fonctionnement du filtre.

Une fois le nettoyage terminé, on ferme le robinet B′ et les vannes H et H′; on ouvre la vanne C pour évacuer l'eau du lavage, puis, une fois cette opération effectuée, on la ferme, et le filtre est prêt à fonctionner de nouveau ; il suffit ensuite d'ouvrir le robinet A′ pour conduire l'eau dans l'appareil.

Filtre industriel Buron. — Ce filtre se compose d'une caisse métallique, à la partie inférieure C de laquelle l'eau arrive par un tuyau A avec une pression minimum de 1 mètre.

L'eau brute traverse les caisses D, qui renferment les matières filtrantes, comprimées et retenues à la partie supérieure par une grille métallique.

Après filtration, l'eau sort par un orifice E, situé dans le haut du réservoir.

Tous les deux mois, environ, on procède au nettoyage du filtre, en fermant tout d'abord la sortie de l'eau en E et en laissant monter, le plus possible, l'eau à travers le filtre.

Après avoir fermé le robinet A d'arrivée d'eau brute, on ouvre la vanne F de la partie inférieure.

L'eau filtrée traverse les matières filtrantes, puis s'échappe par la vanne inférieure F, avec force, en entraînant les impuretés, dont l'écoulement est facilité par la pente donnée au fond du filtre.

Il suffit de remettre les robinets dans leurs positions pri-

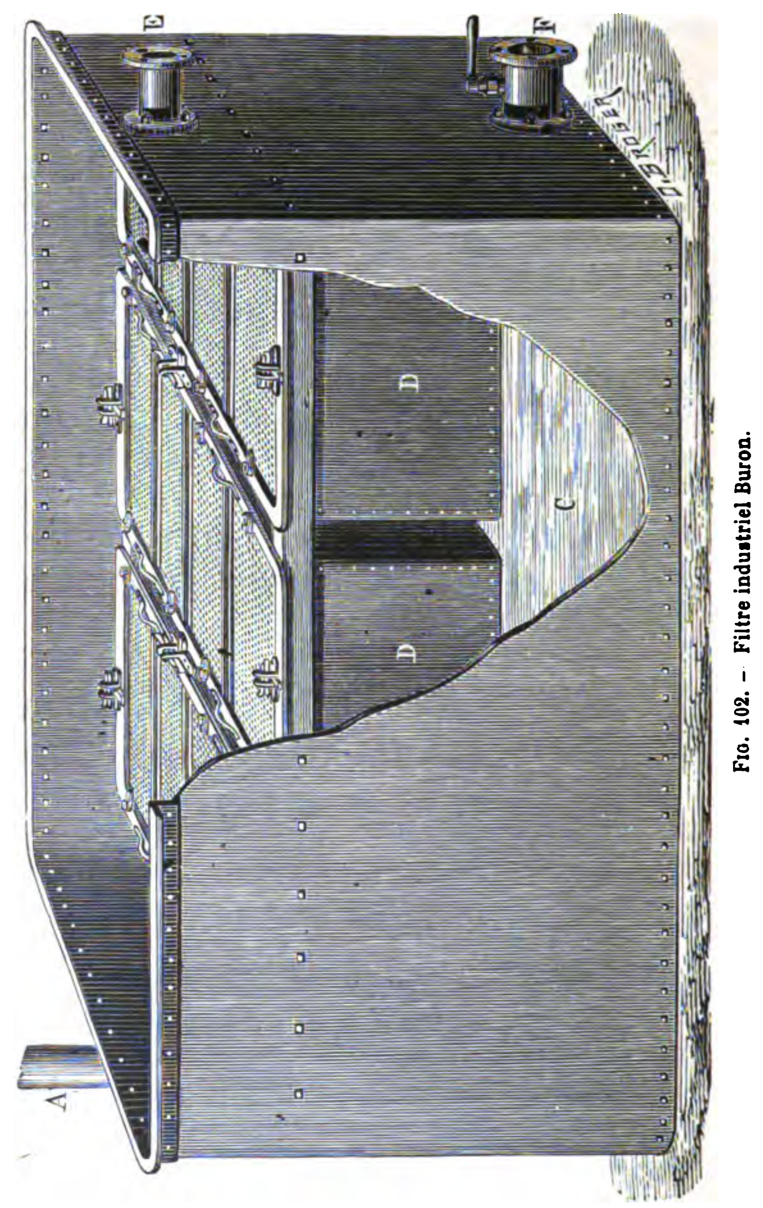


Fig. 102. — Filtre industriel Buron.

mitives pour obtenir, de nouveau, un fonctionnement normal du filtre.

Pour pratiquer un nettoyage complet de la matière filtrante, on peut retirer cette matière filtrante des caisses qui la contiennent et la laver à grande eau.

Filtre mécanique A. Philippe. — Le filtre mécanique A. Philippe diffère complètement des précédents ; il

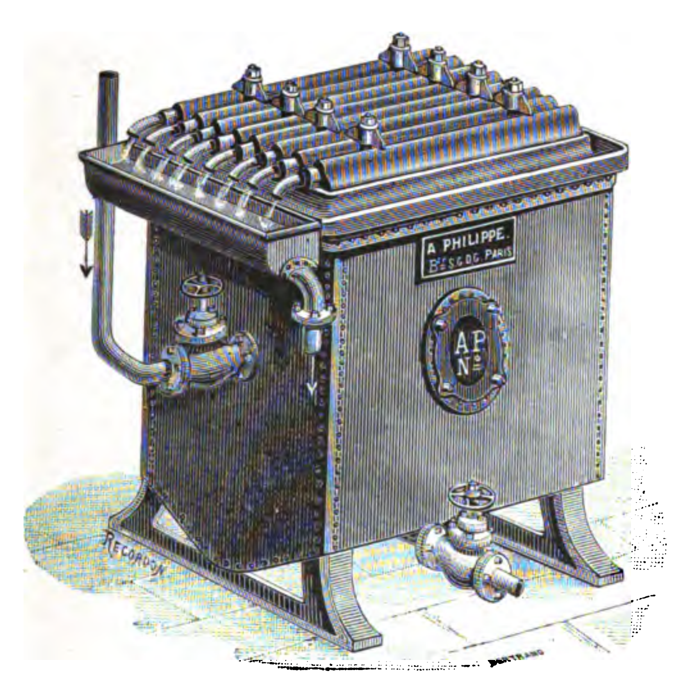


Fig. 103. — Filtre mécanique A. Philippe.

se compose d'un réservoir métallique A destiné à recevoir l'eau à filtrer qui pénètre par un conduit muni d'une vanne.

Cette eau traverse une série de cadres E amovibles métalliques en treillis spécial, recouverts de poches en forme de sac, en tissu filtrant : coton, laine, amiante, etc., suivant le liquide destiné à la filtration.

La partie supérieure des poches D est ouverte et munie d'une pièce souple F, servant à fixer les poches et leurs

cadres métalliques E, au couvercle B, en formant un joint extérieur.

Dans le couvercle B, des ouvertures sont pratiquées, pour

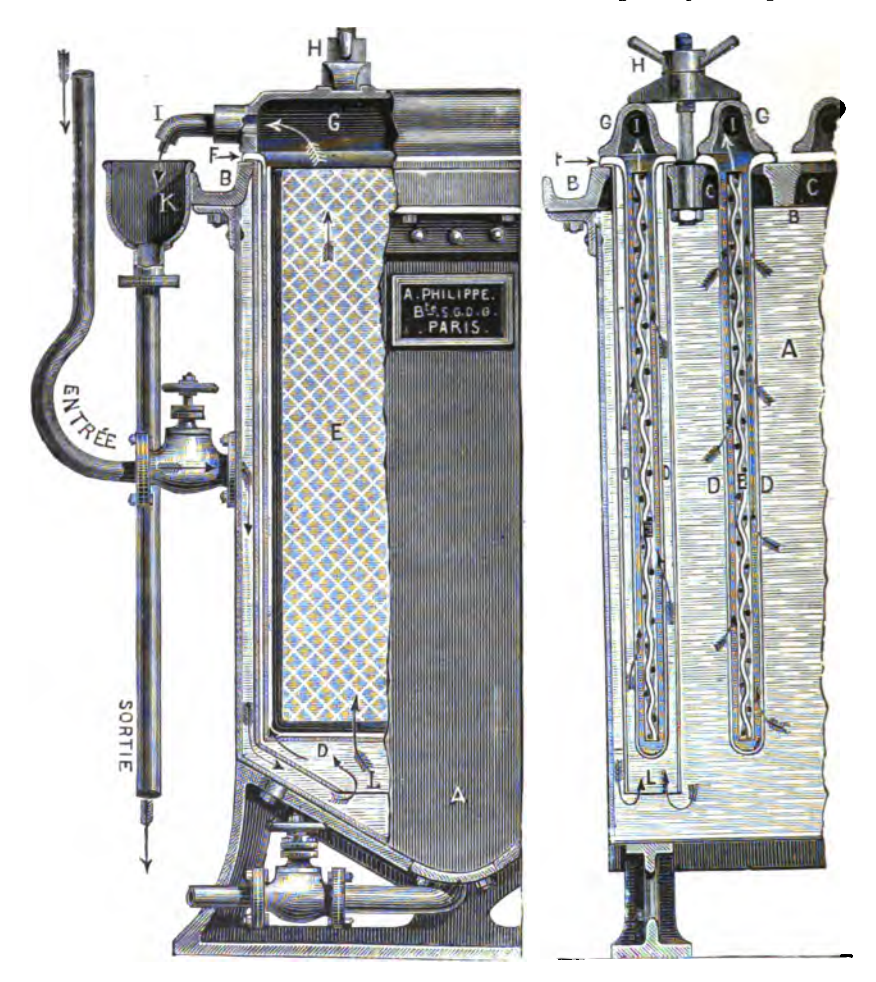


Fig. 104. — Filtre mécanique A. Philippe (coupe transversale).

Fig. 105. — Filtre mécanique A. Philippe (coupe latérale).

l'introduction des poches D ou éléments filtrants dans le réservoir A.

L'eau traverse le tissu filtrant, se débarrasse de ses impuretés et remonte dans l'intérieur des poches D pour sortir

par la partie supérieure dans un chapeau mobile G, mais fixé, pendant le travail, à chaque élément filtrant.

Ainsi filtrée, l'eau s'écoule claire, par les tubulures D spéciales I, fixées aux chapeaux G, dans une nochère collectrice K, où elle est conduite à destination.

Des écrous H et des traverses de serrage servent à fixer les chapeaux G sur les rebords supérieurs F des poches D.

Pour changer les poches, il suffit de fermer l'arrivée du liquide à filtrer, de desserrer un peu les écrous H et de déplacer les chapeaux G; les poches peuvent alors être sorties et remplacées aisément.

Les impuretés, arrêtées par le tissu filtrant, n'adhèrent que légèrement; elles tombent au fond du réservoir A, d'où on les extrait par le robinet de vidange situé à la partie inférieure; quant aux cadres, ils peuvent être nettoyés facilement, en les sortant de la même façon que pour les remplacer, puis en les lavant à grande eau.

Par un dispositif en forme de gaine, marquant le contour du couvercle supérieur B, il ne peut y avoir aucun mélange entre l'eau filtrée et l'eau non filtrée; en effet, si des chapeaux mobiles G n'ont pas été fixés, volontairement ou involontairement, l'eau non filtrée ne peut pas sortir par les conduits I correspondants; elle se déverse dans la gaine du couvercle, puis tombe à l'extérieur, ce qui procure un contrôle facile de la marche des filtres.

Une faible colonne de liquide suffit pour le fonctionnement du filtre.

Filtre Muller. — Le filtre Muller est formé d'une caisse rectangulaire métallique, dans laquelle sont suspendues sur le couronnement en fonte, par un dispositif spécial, deux, quatre, six, etc., séries de quatre poches plates en tissus pelucheux ou uni.

Un couvercle ou porte, muni d'un contrepoids, assure, par un cadre en caoutchouc, une fermeture hermétique.

Dans ce couvercle sont ménagés des caniveaux qui

mettent en communication chaque série de poches avec une tubulure à bride B faisant partie de la porte, afin d'empêcher le mélange du liquide trouble avec le liquide filtré.

L'eau brute arrive par la tubulure A sur le côté de l'appareil, traverse les tubes, monte à l'intérieur des poches et

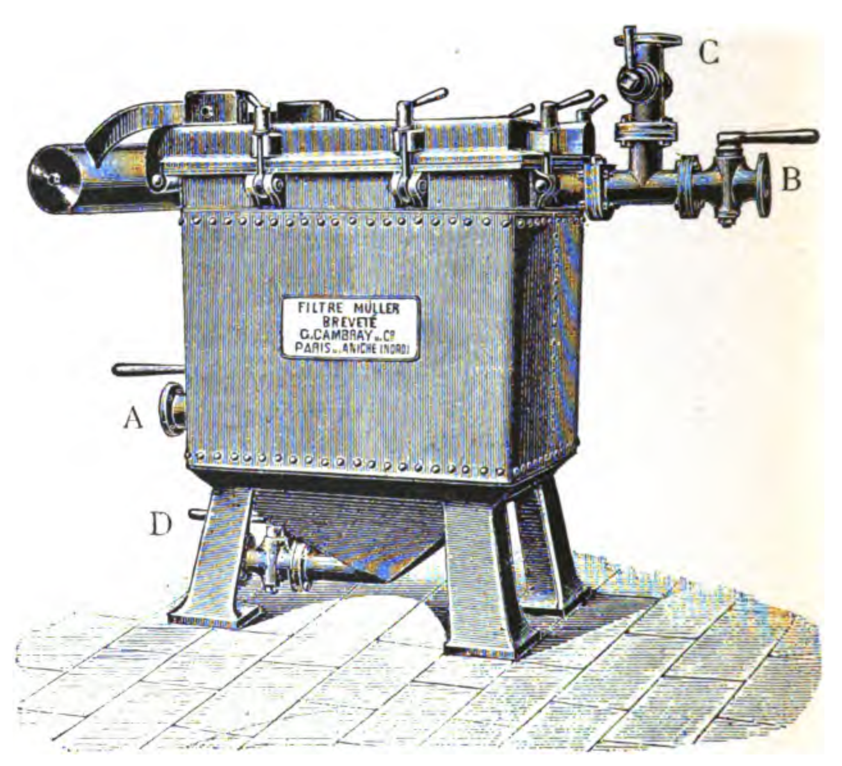


Fig. 106. — Filtre Muller.

sort claire par la tubulure B; les grosses impuretés tombent dans la partie inférieure du réservoir et sont évacuées par le robinet D.

Pour le lavage des toiles, on intervertit le courant en fermant les robinets A d'entrée et B de sortie du liquide, puis, après avoir vidangé l'appareil par le robinet D, on fait passer l'eau de lavage en ouvrant l'entrée de la tubulure C; les impuretés se détachent des toiles et tombent.

Il suffit de vidanger l'appareil à nouveau par l'ouverture et de remettre les robinets dans leurs positions primitives pour reprendre la marche normale de la filtration.

Filtres à éponges. — Les éponges, que nous avons rangées au nombre des matières filtrantes, sont employées dans un certain nombre de filtres industriels.



Fig. 107. — Filtre à éponges H. Desrumaux.

Il est facile de créer des dispositifs permettant de comprimer les éponges ou des substances analogues, telles que du coton et de l'ouate, et augmenter ainsi la puissance de filtration.

Par une décompression de la matière filtrante, on peut obtenir un nettoyage rapide du filtre, en envoyant l'eau par

sa partie inférieure, qui suit un mouvement ascensionnel, et enlève toutes les impuretés retenues par la substance filtrante.

Le filtre à éponges de H. Desrumaux présente certaines dispositions avantageuses dans ce sens.

Le filtre à éponges Perret est un appareil constitué par un bac en tôle long, dans lequel plonge du coton comme matière filtrante.

Ce coton est placé sous forme de tissu serré sur des cadres

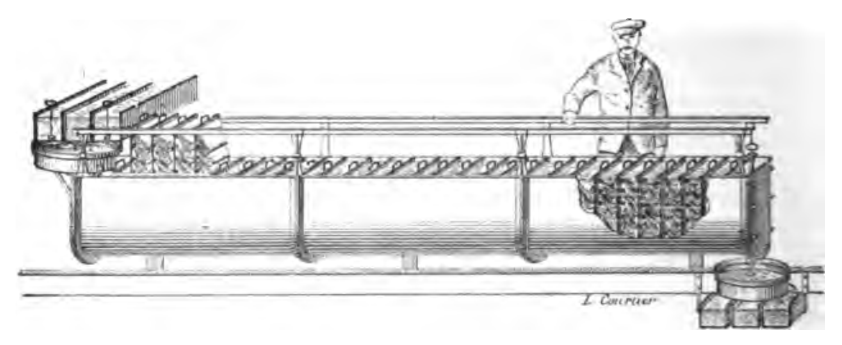


Fig. 108. — Filtre-éponge (système Perret).

en tôle perforée et présente l'aspect des feuillets d'un livre.

L'eau pénètre à l'une des extrémités et ressort par l'autre, après s'être débarrassée des boues, qui sont arrêtées par le coton ou éponge.

Il s'effectue d'abord dans l'appareil une décantation, phénomène purement mécanique, puis une filtration reposant sur la porosité de la matière, phénomène physique.

Filtres-presses. — Les filtres-presses reposent sur ce que la filtration est d'autant plus rapide que la surface filtrante est plus grande et qu'il s'exerce sur la masse à filtrer une pression plus élevée.

Les filtres-presses, bien qu'employés particulièrement en distillerie, en sucrerie, en stéarinerie et en brasserie, sont aussi utilisés dans le traitement des eaux et la séparation des précipités fournis par les eaux résiduaires.

La masse à filtrer est refoulée par une pompe qui la fait passer dans une série de boîtes, dont les parois latérales sont munies de plaques perforées, sur lesquelles sont disposées des toiles filtrantes.

De cette façon, la masse à filtrer est sollicitée par la pres-

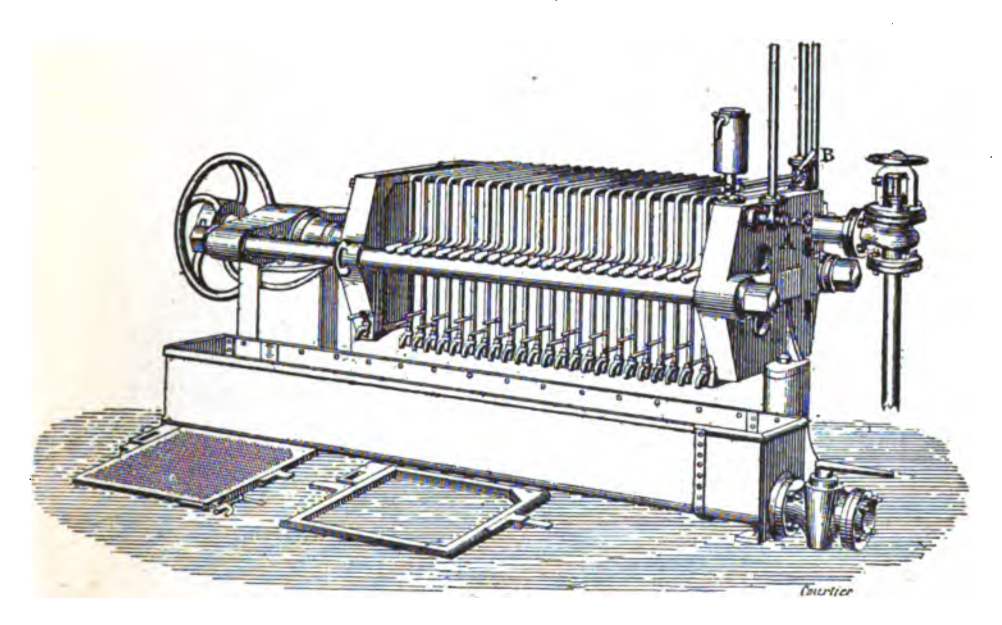


Fig. 109. — Filtre-presse universel.

sion à traverser la toile filtrante et à produire ainsi la séparation de la partie liquide.

Quant aux matières solides, elles restent sous forme de résidus dans les boîtes, où on les recueille comme tourteaux.

Le filtre-presse système G. Cambray est à cadres et à plateaux présentant des cannelures qui suppriment l'emploi des tôles perforées.

Ces plateaux ne possèdent aucun orifice, et le tissu filtrant se place à cheval sur chacun d'eux.

Afin de faciliter la manœuvre, les plateaux et les cadres sont munis de poignées; quant au serrage, il s'effectue au

moyen d'une vis centrale mue par un engrenage et un pignon commandé par un volant manivelle.

Des robinets sont disposés en avant et en arrière du filtre-presse pour l'évacuation de l'air.

Le filtre-presse G. Leclaire, construit par la Société des établissements métallurgiques d'Onnaing, se compose : d'une

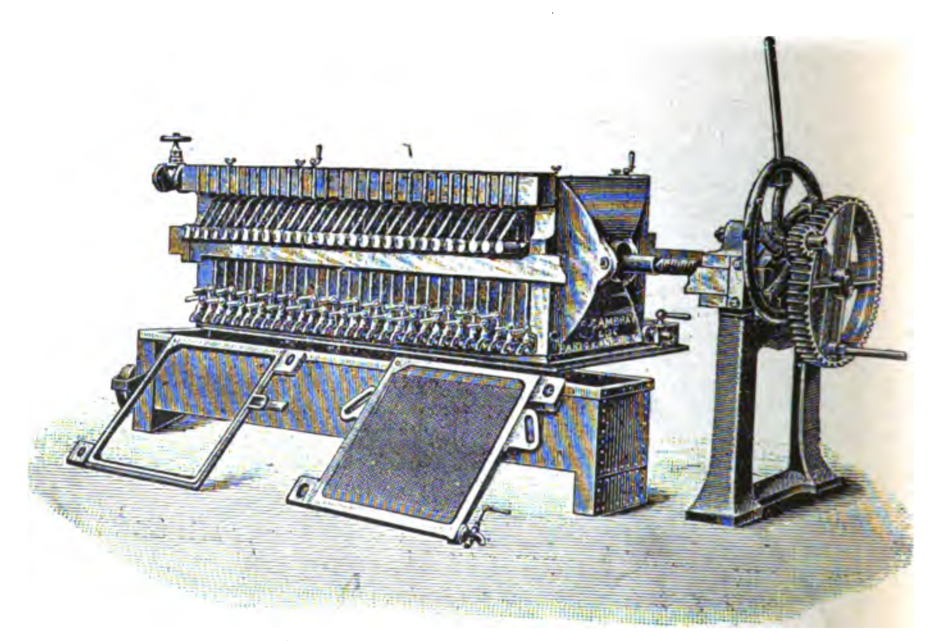


Fig. 110. — Filtre-presse Cambray.

série de plateaux, dont le parallélisme est maintenu pendant le travail par deux barres rigoureusement parallèles, d'un chemin de roulement et d'une vis à butée mobile.

Ce chemin de roulement assure la manœuvre par un seul homme, et, par un système de serrage, on peut obtenir une pression énergique.

Les liquides filtrés s'écoulent par une série de robinets, communiquant avec les différents plateaux, et se réunissent dans un bassin.

Ce filtre-presse peut être installé, en vue d'obtenir une

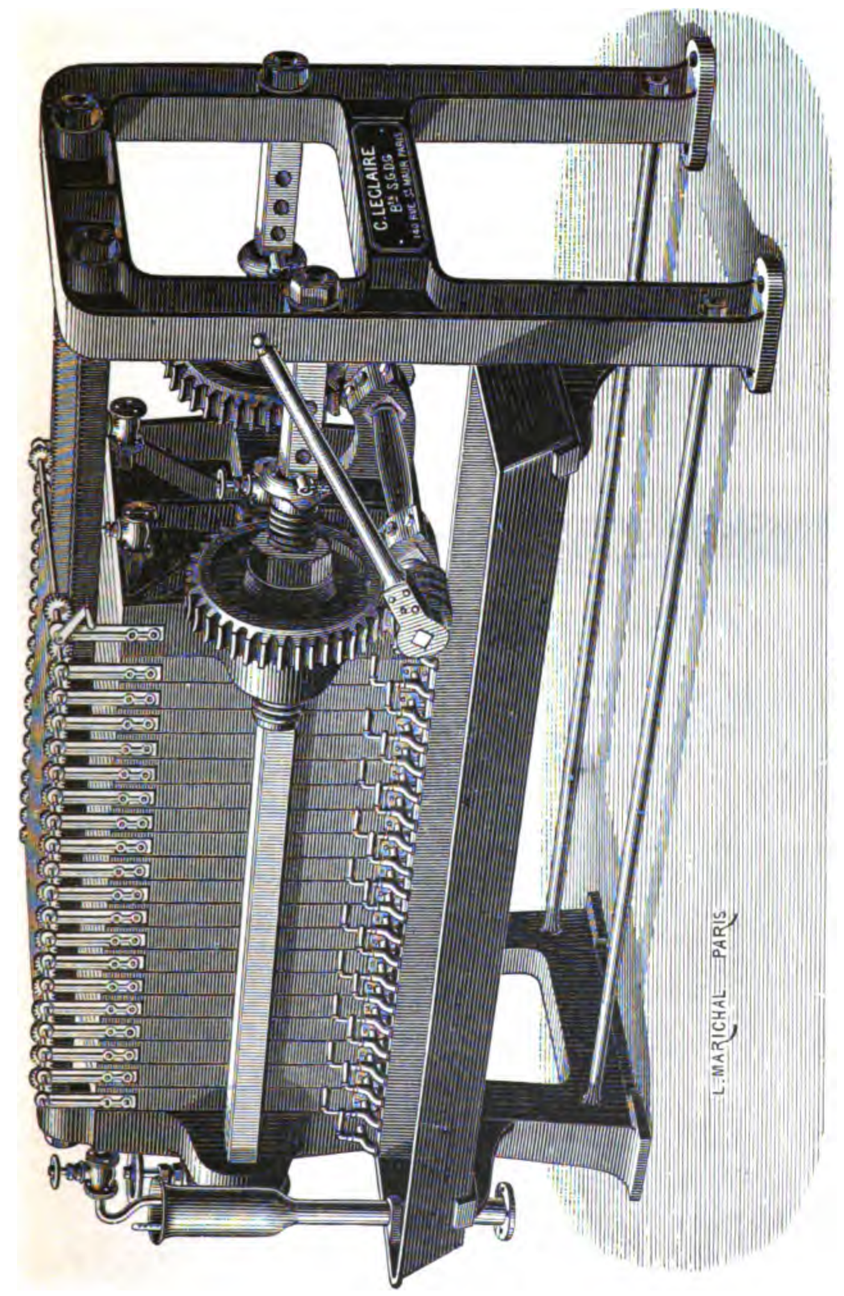


Fig. 111. — Filtre-presse (système Leclaire).

filtration automatique au moyen de l'air comprimé; dans ce cas, on adjoindra au filtre-presse un compresseur d'air et un monte-jus.

Le liquide à filtrer arrivant dans le monte-jus sera chassé par la pression de l'air et refoulé dans le filtre-presse.

Nous représentons ci-après le croquis d'une installation de filtration fonctionnant avec une pompe à membrane et régulateur Leclaire et un filtre-presse semblable au modèle précédent.

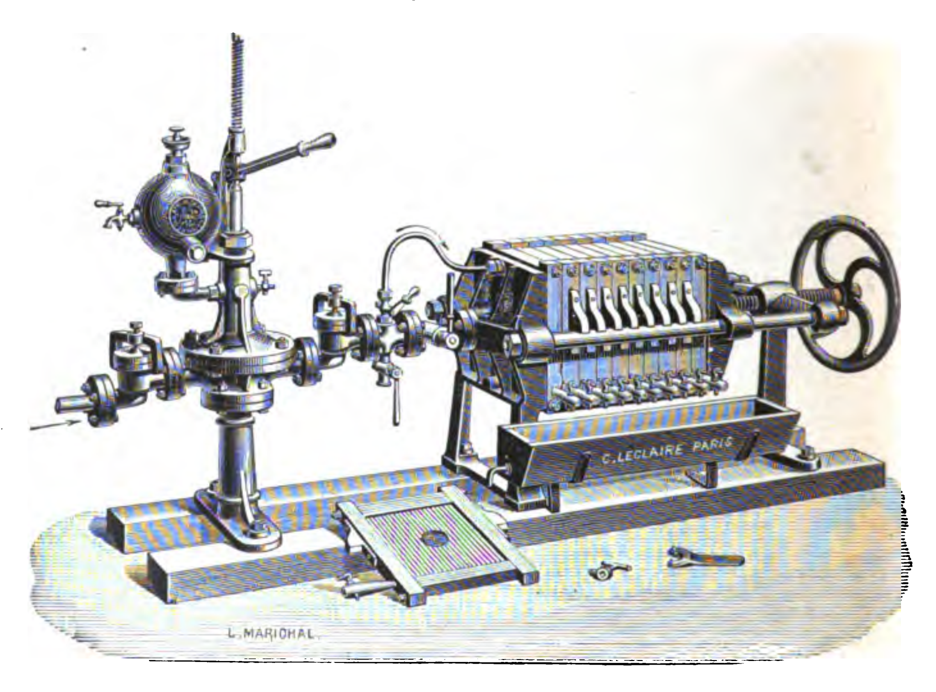


FIG. 112. — Installation d'un système de filtration Leclaire avec pompe à membrane et régulateur.

Au moyen du régulateur, on peut limiter automatiquement une pression quelconque, ce qui permet d'avoir une pression constante.

Lorsque la pression est devenue maximum dans le filtre-presse, la membrane de la pompe devient par suite immo-

bile ; le plongeur continue son mouvement alternatif et force l'eau à passer du corps de pompe au régulateur.

A chaque coup de piston, la pompe s'amorce automatiquement.

Filtre Selden, spécial aux eaux graisseuses. — Cet appareil est employé, en Amérique, pour la filtration des eaux graisseuses provenant des machines à vapeur; son utilisation à bord des navires a été relatée par M. Ortolan.

Le filtre Selden se compose d'une caisse à 11 compartiments; dans le premier se trouve la chaux, qui forme, avec l'acide oléique, des eaux graisseuses, de l'oléate de chaux qui monte à la surface et qu'on enlève.

Dans le 2e compartiment se trouve du coke maintenu entre deux toiles métalliques de cuivre.

Entre les 3e et 4e compartiments, on place un cadre de feutre de un demi-centimètre.

Le 5e compartiment contient du coke; les 6e, 7e et 8e possèdent seulement des cadres de feutre ; enfin le 9e renferme du coke.

Le 10e compartiment est réservé à l'eau épurée.

CHAPITRE V

STÉRILISATION INDUSTRIELLE DES EAUX

Dans les transformations industrielles de l'eau en divers produits, destinés à être absorbés par l'organisme, comme les boissons, d'une façon générale, la glace et les boissons gazeuses, il importe de procéder à la stérilisation de l'eau.

Deux modes de stérilisation peuvent être employés :

1° Par action physique ;

2° Par action chimique.

§ 1. — STÉRILISATION PAR ACTION PHYSIQUE

a) **Par filtration.** — Nous ne pouvons entrer ici dans l'examen des appareils fort nombreux de filtration à travers des corps poreux, ayant pour but de retenir les microorganismes ; mais nous rappellerons qu'il faut observer une propreté rigoureuse dans l'entretien des appareils filtrants.

C'est ainsi que l'on devra procéder au nettoyage du filtre, aussi souvent qu'il sera nécessaire, pour ne pas laisser s'accumuler, dans les pores de la matière filtrante, les microorganismes, qui, sans cette précaution, donneraient lieu à un véritable foyer de colonisation microbienne.

b) **Par la chaleur (vapeur).** — A la suite de nombreuses expériences, il a été constaté que la chaleur exerçait, sur les microbes, une action destructive à certaines températures; nous rappellerons les expériences de MM. Miquel et Wada, qui ont prouvé ce phénomène.

En portant de l'eau de l'Ourcq qui contenait 460.800 bactéries par centimètre cube, M. Wada a obtenu les résultats ci-dessous, qui montrent bien le pouvoir bactéricide de la chaleur.

Températures de l'eau	Durée exprimée en minutes	Nombre de bactéries par centimètres cubes
14°	10	460,800
50°	10	600
60°	10	60
70°	10	88,8
80°	10	62,4
90°	10	26,4
100°	10	0,5
100°	20	0,0

Il suffit donc de porter de l'eau à la température de 100° pendant plus de 10 minutes pour la débarrasser de la plupart des germes qu'elle contient.

Mais, d'après ce fait remarquable, établi par Pasteur, que l'eau portée à 100° perdait une grande partie des germes qu'elle contenait et qu'entre 110 et 120° aucun être organisé ne pouvait résister, on comprend que, pour être certain d'obtenir une stérilisation parfaite, on devra porter l'eau à une température de 115° environ.

Un certain nombre d'appareils ont été proposés pour stériliser les eaux par la chaleur ; nous citerons tout d'abord les appareils perfectionnés de M. Jules Le Blanc, ingénieur-constructeur à Paris, l'inventeur des étuves à désinfecter par la vapeur si répandues, qui ont prouvé, par des expériences effectuées devant différentes Commissions d'hygiène, qu'on pouvait obtenir une stérilisation parfaite des eaux dans des conditions particulièrement avantageuses.

Dans le stérilisateur Vaillard et Desmaroux, l'eau à stériliser se clarifie d'abord dans un filtre D, passe dans un régulateur de pression E, puis dans un régulateur de température F, servant à arrêter la circulation de l'eau dans l'appareil, quand elle ne se trouve pas à la température voulue.

L'eau sort de ce régulateur F, pénètre dans une caisse

spéciale A, appelée récupérateur échangeur et, de là, se rend dans un deuxième récupérateur échangeur B, semblable au premier.

A sa sortie, l'eau est conduite par la canalisation T dans le caléfacteur C, composé d'un serpentin emboîté dans la

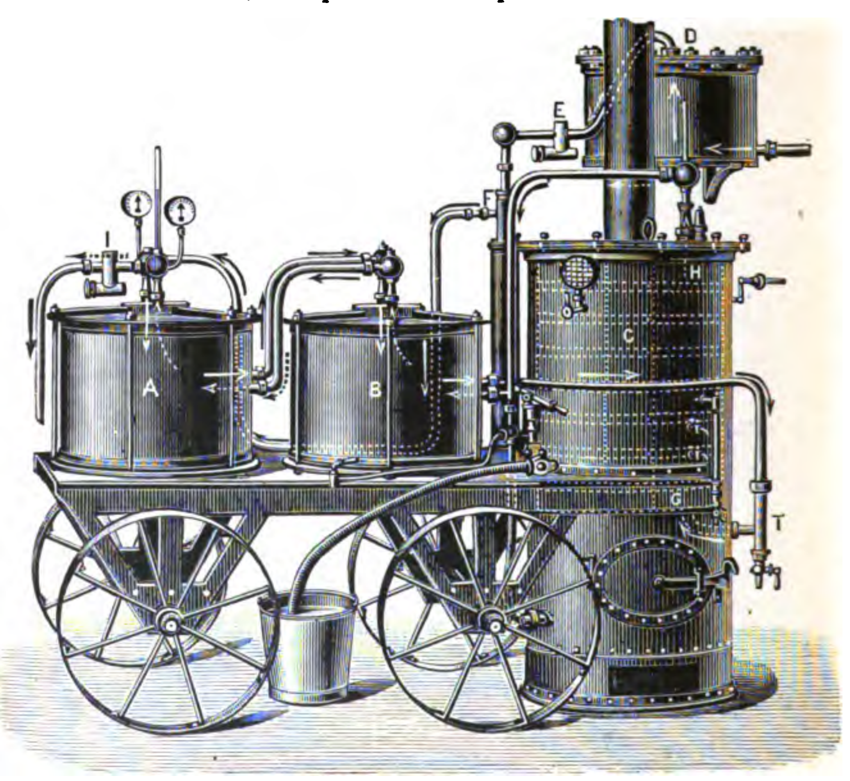


Fig. 113. — Stérilisateur d'eau Vaillard et Desmaroux.

chaudière et formé de huit caissons annulaires superposés et interchangeables.

L'eau circule dans ce serpentin ou caléfacteur C, qui est porté à une haute température, le temps nécessaire pour qu'elle se stérilise complètement, puis ressort par son extrémité supérieure pour redescendre, suivant la flèche indicatrice, dans le tuyau, et passe successivement dans les deux

échangeurs récupérateurs, d'abord en B, puis en A ; marche par conséquent inverse de la première.

Enfin l'eau sort de cet échangeur récupérateur A complètement stérilisée.

Il est à remarquer que, dans sa première marche, l'eau froide à stériliser reçoit dans les échangeurs-réchauffeurs, A et B, la chaleur provenant de l'eau stérilisée à sortir du caléfacteur C, si bien qu'elle rentre dans ce même caléfac-

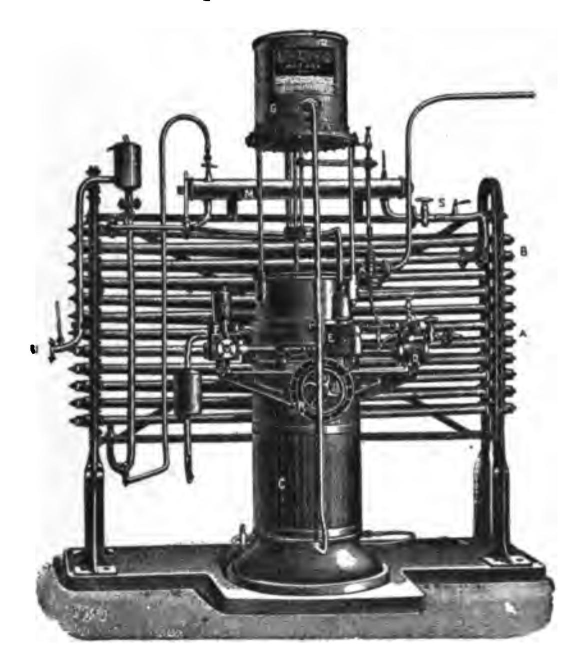


Fig. 114. — Nouveau pasteurisateur Houdard, Egrot et Grangé.

teur à une température d'environ 100°, et par suite il suffit que la chaudière produise une faible quantité de chaleur pour obtenir la stérilisation complète de l'eau.

En cédant sa chaleur à l'eau dont on veut faire la stérilisation, l'eau stérilisée sort finalement de l'appareil à une température normale.

Le stérilisateur récupérateur ou pasteurisateur Houdart, Egrot et Grangé, très employé dans la pasteurisation des

vins et des moûts, permet de stériliser tous les liquides et en particulier l'eau.

Il se compose essentiellement de deux parties :

1° Un faisceau tubulaire comprenant le récupérateur et le caléfacteur ;

2° L'ensemble, c'est-à-dire : le moteur, les pompes, le réservoir d'eau chaude et le régulateur.

Le liquide à stériliser est refoulé rapidement à une cer-

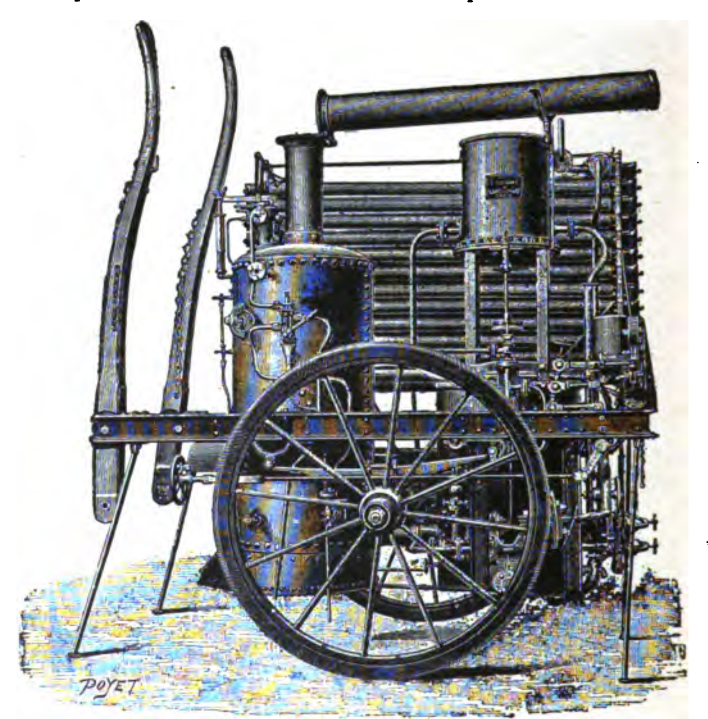


Fig. 115. — Nouveau pasteurisateur Houdard, Egrot et Grangé monté sur roues.

taine pression, par la pompe, à la partie inférieure du faisceau tubulaire ou récupérateur, puis s'échauffe en montant dans la partie supérieure, au contact du liquide chaud provenant de la stérilisation et circule en sens inverse.

Grâce à un dispositif spécial de ce récupérateur, l'échange des températures peut se faire facilement.

Le récupérateur tubulaire est, en effet, formé par des tubes droits assemblés deux à deux ; chaque tube contient un faisceau amovible de tubes plus petits aboutissant à une boîte qui les met en communication.

On obtient, de cette façon, deux circulations, l'une extérieure aux tubes du faisceau et l'autre intérieure.

Après avoir quitté le faisceau tubulaire échangeur de température, le liquide monte dans le caléfacteur, composé de tubes absolument semblables au premier, qui a pour but de parfaire la stérilisation par la température nécessaire pour terminer cette stérilisation et produite par de l'eau chauffée, dans un bassin inférieur à eau chaude, par l'échappement de la vapeur des différents organes du moteur qui alimente les pompes.

L'eau chaude est prise à la partie supérieure du réservoir, par une pompe spéciale et envoyée avec une certaine pression dans le caléfacteur, pour retourner ensuite au réservoir à eau chaude par l'intermédiaire d'un bac situé à la partie supérieure.

Des régulateurs permettent d'obtenir d'une part le débit du liquide et le chauffage nécessaires.

Le stérilisateur récupérateur Houdart, Egrot et Grangé permet d'obtenir, à l'abri de l'air, une température de 15 à 130° pour les liquides à stériliser.

Un type de pasteurisateur est établi sur roues, ce qui permet son transport facile; ce type est surtout employé pour la stérilisation des futailles et le chauffage des vins.

§ 2. — STÉRILISATION PAR ACTION CHIMIQUE

Les procédés de stérilisation chimique des eaux reposent sur l'action de corps susceptibles de produire une action oxydante énergique.

Le chlorure de chaux, l'iode, le brôme, le permanganate de potasse, le permanganate de chaux, le peroxyde de

chlore et l'ozone ont été préconisés pour la stérilisation des eaux.

a) **Par le permanganate de potasse.** — Le permanganate de potasse, corps très oxygéné, ainsi que le montre sa formule : MnO^4K, possède la propriété d'oxyder les matières organiques et, par suite, de subir une réduction.

C'est par sa propriété oxydante que le permanganate de potasse exerce son pouvoir stérilisant, en détruisant les microorganismes.

Pour employer le permanganate de potasse, il suffit d'en ajouter un peu à l'eau, et d'en arrêter l'addition, au moment où la coloration rose de l'eau produite par le permanganate, persiste.

Un des inconvénients de l'emploi du permanganate de potassium, dans la stérilisation, est l'introduction de la potasse qui reste dans l'eau d'alimentation, une fois l'opétion terminée.

b) **Par le permanganate de chaux.** — MM. Ch. Girard et Bordas ont préconisé le permanganate de chaux, ce corps, en présence des matières organiques de l'eau, subit une décomposition en oxygène, oxyde de manganèse et chaux.

L'acide permanganique mis en liberté oxyde les matières organiques et se réduit en oxyde de manganèse; quant à l'acide carbonique fourni par l'oxydation des matières organiques, il s'unit à la chaux pour donner du carbonate de chaux.

Il est nécessaire d'enlever l'excès de permanganate de chaux; pour cela, il suffit de le transformer en bioxyde de manganèse par réduction à l'aide d'un oxyde inférieur de manganèse.

On remarque que le bioxyde de manganèse formé peut être réduit, à son tour, par les matières organiques de l'eau, et transformé en oxyde inférieur de manganèse, qui peut servir de nouveau à réduire l'excès du permanganate de

chaux dans l'eau, par une nouvelle oxydation, donnant naissance encore à du bioxyde de manganèse.

On peut ajouter aux oxydes inférieurs de manganèse un peu de charbon pour faciliter l'agglomération.

Il a été constaté que le permanganate de chaux, en solution neutre ou légèrement acide, provoque une action physique, ayant une tendance à laquer les matières organiques qui se déposent et sont ensuite détruites, en même temps que les microorganismes de l'eau.

c) **Par le peroxyde de chlore.** — On peut encore stériliser l'eau par le peroxyde de chlore, procédé dû à MM. H. et A. Bergé ; ce peroxyde de chlore peut être employé soit sous forme gazeuse, soit en solution titrée.

Pour préparer le peroxyde de chlore, on fait agir, à la température de 15° environ, de l'acide sulfurique de densité 1,711 sur du chlorate de potasse.

On obtient du peroxyde de chlore, du perchlorate de potasse et de l'eau :

(1) $$3ClO^3K + 2SO^4K^2 = ClO^4K + 2SO^4KH + 2ClO^2 + H^2O.$$

Cette réaction est complexe, et le peroxyde de chlore est fourni par décomposition de l'anhydride chlorique, corps provenant du chlorate de potasse :

(2) $$Cl^2O^5 = 2\ ClO^2 + O.$$

On voit que, dans cette réaction, on obtient aussi de l'oxygène.

Le peroxyde de chlore agit, dans la stérilisation de l'eau, sur les matières organiques, comme les oxydants énergiques, sans introduire, dans l'eau, de corps basiques.

D'après la réaction (1), on voit que 1 gramme de chlorate de potasse peut fournir $0^{gr},367$ de peroxyde de chlore.

On admet que, pour une eau ordinaire, il faut une moyenne de 1 à 2 grammes de peroxyde de chlore, par mètre cube d'eau, soit 1 à 2 milligrammes par litre.

On ajoutera donc à l'eau, d'après la formule théorique, une quantité variant de $0^{gr},0035$ à $0^{gr},0070$ de chlore par litre, quantité qui est de 20 à 40 fois inférieure à celle des eaux qui passent pour être peu chlorurées.

En pratique, l'addition de peroxyde de chlore, pour stériliser l'eau, est réglée de telle façon qu'il y en ait un léger excès, afin de permettre la destruction la plus complète des matières organiques et des microorganismes.

Comme vérification, on se sert d'une solution d'iodure de potassium, renfermant de l'amidon ; lorsque l'eau à épurer produit nettement une coloration bleue, c'est qu'il y a suffisamment de peroxyde de chlore.

d) **Par l'ozone.** — La stérilisation des eaux par l'ozone a été l'objet, ces dernières années, de nombreuses expériences de la part des Drs Roux, Calmette et Van Ermengen, et de MM. Houzeau et de Luynes.

Dans les conclusions, relatées dans les *Annales de l'Institut Pasteur*, on est amené à considérer l'ozone comme un puissant bactéricide.

Par l'action de l'ozone sur l'eau, il résulte que non seulement il y a destruction parfaite des microbes pathogènes ou sacrophytes et des matières organiques, mais encore une amélioration notable de l'eau par son aération énergique, qui ne lui enlève aucun de ses principes minéraux utiles.

Par l'ozonisation, l'eau acquiert un pouvoir de conservation qui la soustrait à une pollution postérieure.

Nous ajouterons que les eaux, même souillées par des corps en putréfaction, provenant d'infiltration de fosses d'aisance, peuvent être rendues saines par un traitement à l'ozone.

La stérilisation industrielle des eaux par l'ozone a été poursuivie.

En France : par MM. G. Séguy, Otto, Eck, Abraham, Marnier, de Saint-Martin, Andréoli et Patin.

En Hollande : par le baron Tindal, Schneller et van der Sleen.

Et en Allemagne : par MM. Ohlmüller, Siemens et Halske.

En 1895, Tindal montra à l'Exposition d'Hygiène de Paris, au Champ-de-Mars, un appareil de stérilisation d'eau par l'ozone; le Conseil municipal de Paris vota 125.000 francs, pour l'installation d'une usine à Saint-Maur, spécialement affectée à des essais de stérilisation des eaux de Seine par l'ozone devant porter sur un traitement de 500 mètres cubes d'eau par 24 heures, avec une dépense maximum de 2 centimes et demi par mètre cube d'eau stérilisée.

Récemment des expériences ont été faites en Allemagne pour l'ozonisation des eaux de la Sprée à Martinikenfeld (Berlin); les résultats obtenus ont été des plus concluants.

La stérilisation des eaux par l'ozone est faite soit par ozonisation directe, soit par filtration suivie de l'ozonisation.

Les lois qui régissent la production de l'ozone, d'après une communication de M. Gaston Séguy, à l'Académie des Sciences, en 1885, et présentée par M. Schutzenberger peuvent être énoncées ainsi :

La quantité d'ozone produite est :

1° En raison directe de la tension du courant utilisé;

2° En raison directe du nombre de surfaces composantes;

3° En raison inverse de l'épaisseur du corps diélectrique interposé entre les deux pôles et de sa conductibilité;

4° En raison du nombre de passages, sous l'influence de l'effluve, étant donné que 3 est le chiffre maximum pour la sursaturation.

C'est à M. G. Séguy que l'on doit le premier appareil de production industrielle de l'ozone et les premiers essais de stérilisation industrielle de l'eau.

Le générateur de M. Séguy, dit sursaturateur d'ozone, permet de produire de grandes quantités d'ozone et de le sursaturer, grâce à une combinaison qui oblige le gaz oxygène, employé à la transformation en ozone, à repasser plusieurs fois sous l'influence de l'effluve électrique.

La disposition d'ensemble du générateur tubulaire sursaturateur d'ozone de M. G. Séguy se compose d'une dynamo J, à courant continu distribuant le courant primaire aux transformateurs E. Les alternances sont réglées par un trembleur F.

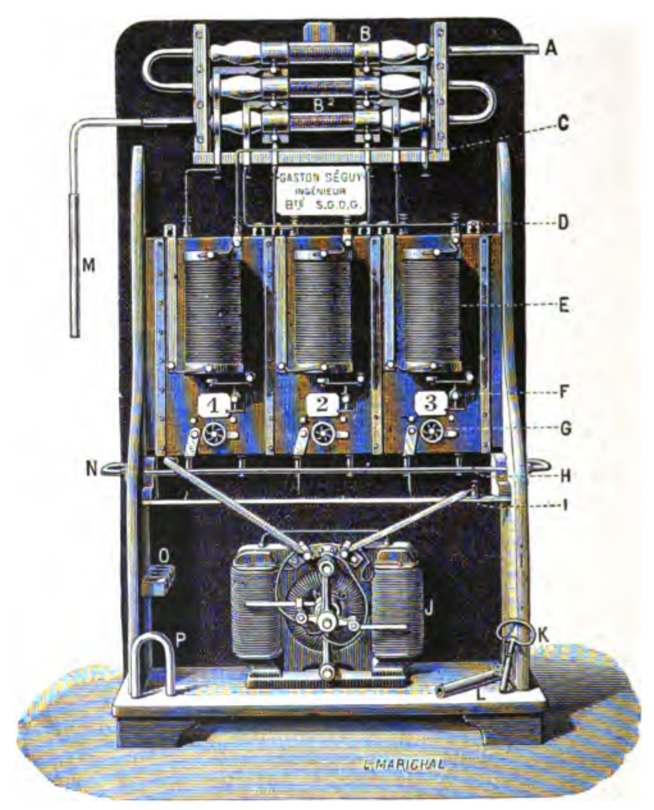


Fig. 116. — Générateur tubulaire sursaturateur d'ozone Gaston Séguy.

Le courant à haut potentiel est amené aux tubes ozoniseurs par les bagues B et B^2.

L'entrée de l'air pur ou de l'oxygène à ozoniser est située en M, et l'ozone produit sort par l'ouverture A.

Le générateur d'ozone fonctionne avec un transformateur à potentiel très élevé et produit 154 milligrammes d'ozone par minute.

L'oxygène, transformé en ozone, s'écoule sous forme de bulles nombreuses par un dispositif en aluminium, analogue à une passoire, qui répartit l'ozone dans l'eau à stériliser.

Un gazomètre permet de récupérer le gaz ozone après son travail, qui redevient de l'oxygène pouvant servir à une nouvelle transformation en ozone par l'action de l'effluve électrique.

Dans une Note à l'Académie des Sciences et dans une Communication à la Société des Ingénieurs civils de France, M. Otto a relaté les phénomènes de phosphorescence qui se produisent, en même temps que la destruction des microbes et des matières organiques dans la stérilisation des eaux par l'ozone.

Il résulte que :

1° Dans certaines conditions, il se produit une vive luminosité, lorsque l'ozone prend contact avec l'eau;

2° Que cette luminosité est la preuve de la destruction des germes et qu'elle ne se produit pas dans une eau réellement pure.

Les appareils étudiés par M. Otto, pour la stérilisation industrielle des eaux, sont caractérisés par l'usage d'émulseurs servant à procurer un contact parfait de l'ozone avec l'eau pour former une émulsion complète du corps stérilisant avec l'eau à stériliser.

Cet émulseur est constitué par deux cônes, présentant leurs petites bases, en regard l'une de l'autre, et disposés concentriquement.

Par un ajutage reliant le cône extérieur, on envoie l'air ozoné; l'eau est amenée par le cône supérieur; elle se déverse en lame mince, qui subit ainsi l'action efficace de l'ozone.

Au sortir de l'émulseur, l'action de l'ozone est complétée par un contact avec l'eau dans des stérilisateurs à plateaux.

Ces stérilisateurs sont formés par une série de plateaux à grande surface, dont le nombre varie généralement de 20 à 50, suivant les cas.

Sur ces plateaux se déversent en nappe mince l'eau déjà ozonée et l'ozone, dans la partie supérieure de l'appareil.

Ces plateaux sont constitués de telle façon qu'une couche mince d'eau peut y séjourner continuellement, et ils présentent des orifices munis de capuchons.

A la sortie de l'émulseur, l'ozone s'échappe par la partie supérieure et pénètre à la base du stérilisateur, où il traverse le premier plateau par l'orifice qui y est pratiqué, puis le second plateau, et ainsi de suite, jusqu'au dernier.

Les orifices des plateaux sont à l'inverse l'un de l'autre, si bien que l'eau subit, de haut en bas, une marche en zigzag d'un plateau à l'autre, rencontre l'ozone, qui circule puis en sens inverse jusqu'à la partie supérieure du stérilisateur et s'échappe par un tube de dégagement.

Quant à l'eau stérilisée, elle descend dans un réservoir inférieur, où elle est prise par une canalisation.

La Compagnie de l'Ozone, à Paris, possède une série d'appareils spéciaux pour la préparation des eaux de table et de la glace stérilisée.

Dans la stérilisation des eaux de table, les bouteilles vides sont amenées par une toile sans fin, en position, dans l'appareil à remplir et à boucher, contre une pièce en bronze.

L'eau se sature d'ozone dans un mélangeur de forme spéciale, composée de trois trompes en verre, se réunissant dans un même manchon; ce mélangeur fonctionne d'une façon identique à l'émulseur que nous avons décrit précédemment.

L'eau arrive dans la bouteille, chargée d'une grande quantité d'ozone, et la stérilisation a lieu non seulement pour l'eau, mais encore pour la bouteille.

Les bouteilles une fois remplies sont ramenées par une toile sans fin.

Pour la préparation de la glace stérilisée, les appareils employés fonctionnent, d'une façon analogue; mais ils permettent d'obtenir, en outre, un bouchage automatique des vases.

En 1898, des essais furent entrepris par MM. Marmier et Abraham à l'usine élévatoire des eaux provenant des sources d'Emmerin, à Lille, en vue de la stérilisation des eaux par l'ozone.

L'installation comprenait trois parties :

1° La production du courant électrique;

2° La production de l'ozone ;

3° La stérilisation de l'eau.

Le courant électrique produit passait dans un transformateur à haut potentiel, pouvant donner 40.000 volts et plus.

L'ozone est produit par deux appareils : un ozoneur et un déflagrateur à tiges.

Une série d'étincelles efficaces jaillissent entre les tiges du déflagrateur en assurant un potentiel régulier entre les pôles de l'ozoneur.

Quant à l'ozoneur, il est constitué par une électrode métallique, une glace, un intervalle, une glace, une électrode, une glace, un intervalle, etc.

Les électrodes de rang pair communiquent avec un pôle du transformateur, et celles de rang impair, avec l'autre pôle ; et c'est dans les intervalles des glaces que jaillit l'effluve.

En sortant de l'ozoneur, l'ozone passe dans une grande colonne en maçonnerie, où circule l'eau à stériliser, qui, après son traitement, s'écoule à la base de cette colonne.

Les brevets Abraham et Marmier sont exploités par la « Société Industrielle de l'Ozone ». Les essais effectués avec les appareils producteurs d'ozone de MM. Eck et Patin ont permis de stériliser plus de 5 mètres cubes d'eau de Seine par cheval-vapeur dépensé.

M. Andréoli a construit un appareil ozoniseur en alu minium, produisant 100 grammes d'ozone environ par cheval-heure, avec une faible élévation de température.

Le pouvoir microbicide réel de l'ozone doit faire considérer l'application de ce gaz, comme stérilisant, parmi les plus importantes questions à l'ordre du jour.

QUATRIÈME PARTIE

LES EAUX RÉSIDUAIRES ET LEUR ÉPURATION

Les eaux résiduaires varient de composition non seulement suivant l'industrie dont elles proviennent, mais encore suivant les modes de fabrication employés dans l'usine et la quantité d'eau mise en œuvre.

De plus, certaines industries présentent un avantage réel à extraire, des eaux résiduaires, des principes utiles.

Pour ces différentes raisons, les traitements sont variables, suivant les cas; mais on peut rattacher l'épuration des eaux résiduaires à deux procédés, qu'on coordonne quelquefois : 1° l'épuration par le sol; 2° l'épuration chimique.

Nous envisagerons dans ses grandes lignes l'épuration par le sol, qui a donné des résultats si retentissants dans le traitement des eaux d'égout, la grande question d'assainissement des villes.

Le sol ne se prêtant pas toujours aux circonstances, les eaux résiduaires demanderont souvent à être traitées par les procédés chimiques ou électro-chimiques.

Après avoir passé en revue les procédés en usage dans la grande industrie en général, comme, la sucrerie, la distillerie, les amidonneries, les papeteries et cartonneries, l'industrie des peaux, etc., nous indiquerons les moyens de

récupérer quelques résidus de teinturerie et d'eaux de savonnerie.

C'est alors que l'étude des eaux savonneuses sera entreprise; ces eaux résiduaires, si abondantes dans un grand nombre d'industries, comme l'industrie lainière, dont le traitement est parfois des plus avantageux.

Nous poursuivrons l'étude des eaux savonneuses à l'usine génératrice, c'est-à-dire chez l'industriel même, puis dans une usine centrale, comme celle de Grimonpont, pour l'Espierre, le grand collecteur du Nord.

L'épuration des eaux de l'Espierre, cette grosse question franco-belge à l'ordre du jour qui vient d'être résolue, a provoqué, depuis de longues années, de nombreux essais, qu'il est utile de connaître; ils apporteront la lumière dans d'autres problèmes d'épuration des eaux résiduaires.

Enfin, nous terminerons la troisième partie de cet ouvrage par l'obtention et la récupération de certains corps rémunérateurs extraits des eaux savonneuses.

CHAPITRE I

ÉPURATION PAR LE SOL

L'épuration par le sol ou par irrigation ne peut pas être employée dans tous les cas; certaines eaux, comme celles de l'Espierre, se dépouillent difficilement des matières étrangères qu'elles contiennent, et la filtration par le sol est extrêmement pénible.

La nature du sol est un facteur important, qui, souvent, est un obstacle à ce mode d'épuration, comme il l'est, du reste, dans les régions avoisinantes de Roubaix et de Tourcoing, si bien que les diverses Commissions internationales et intercommunales instituées pour le traitement des eaux de l'Espierre se sont catégoriquement prononcées contre l'épuration par le sol.

Par contre, l'irrigation est des plus favorables au traitement des eaux d'égout, comme celles qui se déversent dans la plaine de Gennevilliers.

D'après la moyenne des analyses, pour la période comprise entre 1887 et 1895, les résultats ont été les suivants :

PROVENANCE DE L'EAU	OXYDABILITÉ	AZOTE Organique	AZOTE ammoniacale	AZOTE nitrique	CHLORE
Collecteur de Clichy..	39,1	5,4	18,7	4,1	61
Collecteur de St-Ouen.	56,6	6,3	25,5	3,6	92
Drain des Grésillons. .	1,3	»	»	21,3	72
Drain d'Epinay.	1,3	»	»	22,6	69

Si nous prenons les résultats moyens, obtenus pour les bactéries, pendant l'année 1895, on a :

Collecteur de Clichy. . . .	13.250.000	bact. par c. c.
Collecteur de Saint-Ouen.	16.870.000	—
Drain des Grésillons. . . .	880	—
Drain d'Epinay.	8,380	—

Dans la presqu'île de Gennevilliers, les eaux qui s'y déversent ne dépassent pas 40.000 mètres cubes à l'hectare et présentent la composition suivante, par mètre cube :

Acide phosphorique.	45	grammes
Azote.	18	—
Potasse.	27	—

Suivant M. Duclaux, 1 mètre cube d'eau d'égout renfermerait la même quantité de principes fertilisants que 10 kilogrammes de fumier de ferme, ce qui porte à 400.000 kilogrammes en fumier l'estimation de l'apport des eaux d'égout dans la plaine de Gennevilliers ; c'est plus de 20 fois ce qu'il est nécessaire, puisque les cultures les plus intensives n'en exigent que 20 à 25.000 kilogrammes.

Quant aux produits agricoles obtenus, qui alimentent une grande partie de la population parisienne, ils sont des plus recherchés, malgré les préjugés auxquels s'attache souvent, bien à tort, le public, lorsqu'il en apprend la provenance.

Sous les phénomènes d'influences microbiennes, les matières de l'eau d'égout subissent des transformations en d'autres, qui font partie des aliments naturels des plantes, sans que, pour cela, par conséquent, les produits agricoles soient imprégnés des substances primitives qui auraient pu causer leur altération.

A Gennevilliers, les résultats obtenus sont des plus satisfaisants; aussi ont-ils eu pour conséquence l'entreprise des travaux considérables, menés à bonne fin, d'adduction des eaux d'égouts de la ville de Paris dans les plaines d'Achères.

La plaine de Gennevilliers, composée autrefois de terrains incultes, est devenue essentiellement fertile; car, dans le traitement par le sol, les eaux filtrent à travers des couches perméables et se débarrassent des corps en suspension; les matières organiques sont alors soumises aux différentes influences de l'oxygène et de ferments qui concourent à leur nitrification.

Cette nitrification donne donc des nitrates, corps assimilables par les plantes, et l'eau se purifie, en abandonnant, au profit de l'agriculture, ses principes fertilisants, contenus en grande proportion dans l'eau d'égout.

Le sol est encore employé, comme épurateur, par quelques industries voisines des champs de culture; c'est ainsi que certaines féculeries, amidonneries et distilleries traitent leurs eaux résiduaires.

La considération de la méthode par irrigation comprend deux faits distincts : la filtration et l'oxydation. Examiner cette méthode, c'est se placer dans les conditions de chacun de ces phénomènes.

En tant que filtration, elle dépend de la perméabilité du terrain, le sol doit être suffisamment perméable pour permettre une filtration rapide; de plus, suivant la façon par laquelle s'opère cette perméabilité, l'eau sort plus ou moins purifiée.

C'est dans le passage de l'eau à travers le sol qu'elle se débarrasse des différentes matières organiques ou minérales qu'elle tient en solution ou en suspension, et elle lui abandonne aussi en partie les germes organisés qu'elle contient.

Les terrains les plus propices à cette filtration sont ceux qui ont une perméabilité uniforme, et dont la composition est le sable ou le gravier, ou leur mélange avec un peu d'argile.

Quant à l'oxydation, il faut qu'elle s'effectue aussi rapidement, les matières organiques devant être oxydées sous l'influence des ferments nitreux et nitrique.

L'eau à épurer doit se trouver le plus possible en contact avec l'oxygène de l'air; c'est pourquoi la méthode par irrigation demande une grande étendue de terrain.

Un bon terrain perméable épure une moyenne de 60 à 100 mètres cubes d'eau par hectare, en vingt-quatre heures.

Il est une certaine pratique, employée par quelques industriels, qui doit être absolument condamnée.

Nous avons eu l'occasion de voir des distilleries épurer, d'après une certaine réglementation, leurs eaux résiduaires (vinasses), à la sortie des filtres-presses en les envoyant par une conduite dans un bassin découvert creusé dans la terre, dont le liquide était déversé dans la rivière.

La filtration se fait d'une façon détestable, dans les conditions les plus mauvaises d'hygiène.

Nous avons pu constater que ces bassins de décantation se remplissaient rapidement de matière stagnante, étaient le siège de fermentations putrides et engendraient un véritable foyer d'infection, dangereux pour la santé publique; de plus, le liquide ensuite rejeté à la rivière était en pleine fermentation.

Si la méthode d'épuration par le sol, bien appliquée, permet de se débarrasser ou de détruire les substances organiques solubles et les organismes vivants, elle ne peut s'appliquer, ainsi qu'il a été observé, à tous les terrains et à toutes les industries.

Pour obvier à l'inconvénient que peut présenter une eau à la filtration, on fait souvent un traitement mixte, en procédant à une épuration chimique préalable, que l'on fait suivre de l'irrigation bien établie.

Enfin on traite les eaux résiduaires par les procédés chimiques, que nous allons examiner.

CHAPITRE II

ÉPURATION PAR LES PROCÉDÉS CHIMIQUES

Les cours d'eau étant régis par des lois, des arrêtés, des règlements qui empêchent le rejet des eaux résiduaires à la rivière, les industriels sont obligés de prendre des moyens en rapport avec les exigences pour épurer leurs eaux résiduaires.

Les usines, classées parmi les établissements incommodes, dangereux et insalubres, sont particulièrement soumises à certaines obligations en matière d'épuration.

Quelquefois, comme pour l'Espierre, les usines des régions avoisinantes rejettent leurs eaux directement dans un collecteur; de là résultent deux modes d'épuration qui consistent à traiter l'eau résiduaire à l'usine même, afin de n'envoyer que de l'eau propre, ou bien à faire subir un traitement des eaux réunies en un endroit du collecteur.

Ces deux manières d'opérer sont en vigueur au canal de l'Espierre, car les industriels ont souvent avantage à traiter leurs eaux eux-mêmes, afin de récupérer les matières utiles qui s'y trouvent contenues.

Les usines où s'exécute le travail de la laine ont grand intérêt à épurer leurs eaux, dont elles peuvent extraire de la potasse et du suint, qui les rémunèrent largement de leurs frais de traitement.

En particulier, les eaux qui contiennent des matières grasses, libres ou combinées, sont l'objet de récupérations, qui ne deviennent avantageuses, évidemment, que si les frais de traitement sont inférieurs à la valeur des matières extraites.

Si les matières à extraire de l'eau résiduaire ne payent pas les frais du traitement, on se contente de faire l'épuration en enlevant ou en transformant les matières nuisibles avant de jeter ces eaux à la rivière.

§ 1. — ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES DE PROVENANCES DIVERSES

Procédé Schlœsing. — Dans les eaux de vidange, on trouve trois principes essentiels : l'acide phosphorique, la potasse et l'azote combiné.

L'acide phosphorique est presque entièrement contenu dans la matière solide ; quant à l'azote, il est à l'état d'ammoniaque ; ce dernier produit demande particulièrement à être extrait des eaux de vidange.

Le procédé Schlœsing a pour but de précipiter cette ammoniaque sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien, corps des plus utiles à l'agriculture.

Au lieu d'obtenir ce corps avec des phosphates ou des sels de magnésie, qui sont des produits chers, on emploie l'acide phosphorique et la magnésie, tous deux libres ou combinés.

En introduisant de l'acide phosphorique dans des boues de magnésie, on obtient aussitôt un précipité de phosphate tribasique, qui, après repos, se laisse filtrer facilement sur toile et précipite l'ammoniaque à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

Ce phénomène s'explique par l'échange qui se produit entre 1 molécule de magnésie du phosphate tribasique et 1 molécule d'ammoniaque, qui se trouve, sous différents états, dans les eaux de vidange.

L'eau de mer, renfermant de grandes quantités de sels de magnésium, on peut préparer un produit susceptible de précipiter l'ammoniaque des eaux qui la contiennent.

Pour cela, il suffit de prendre de l'eau de mer, de la traiter par de la chaux et de la laisser déposer pendant vingt-quatre heures.

Après décantation et après avoir rejeté les eaux claires, on mélange aux boues ainsi obtenues une dissolution d'acide phosphorique, qui fournit un précipité qu'il s'agit de recueillir et qui est prêt à servir au traitement de l'eau.

Procédé employé à Coventry. — L'eau à épurer passe, à la sortie du collecteur, dans une espèce de roue munie de grilles facilitant la séparation des matières solides.

Ces matières, retenues dans la roue, puis envoyées dans un panier, sont prises par une vis d'Archimède, qui les conduit à un filtre-presse pour en faire des tourteaux utilisés comme engrais.

L'eau, sortant alors de la roue, est mélangée au moyen d'agitateurs à des solutions d'alumine et de fer, et enfin à un lait de chaux; tous ces produits sont contenus dans des bassins, qui permettent de faire la précipitation.

Enfin une filtration termine le traitement de ces eaux qui sont déversées à la rivière.

Procédé Lechatelier. — Les sels de fer et d'alumine ont été préconisés par M. Lechatelier, qui, à cet effet, emploie les pyrites de Picardie contenant des sels d'alumine et de fer ou des bauxites qu'il traite par de l'acide sulfurique.

Avec les eaux d'égout, on obtient des savons d'alumine et du sulfure de fer, qui se forme par l'hydrogène sulfuré; le fer agit donc comme désinfectant.

Dans cette action du fer, il y a oxydation et régénération du réactif.

De nombreux essais ont été faits par M. Lechatelier, sur les eaux d'égout, et sur les eaux résiduaires d'usines diverses; en particulier, les eaux vannes de sucrerie ont fourni de bons résultats, par une épuration au perchlorure de fer, combinée avec de la chaux ou de la dolomie.

Les matières albuminoïdes et l'acide phosphorique sont précipités par le perchlorure de fer, sous l'influence de phénomènes d'oxydation.

Relativement à l'emploi du sulfate d'alumine, proposé par M. Lechatelier, des expériences de Durand-Claye, faites sur les eaux d'égout de l'usine de Clichy, ont fourni de bons résultats en employant 200 grammes de sulfate d'alumine par mètre cube d'eau.

Il résulte de ces expériences que l'eau qui s'est écoulée après le traitement était absolument limpide, claire, au point de pouvoir lire à travers une couche de 10 centimètres d'épaisseur.

L'eau, ainsi épurée, permettait aux poissons d'y vivre parfaitement; quant aux boues provenant de ce traitement, elles n'avaient pas d'odeur et séchaient facilement sur le sol.

En admettant le prix du réactif à 11 francs les 100 kilogrammes, ce traitement reviendrait donc, d'après les données, à 2 centimètres environ par mètre cube.

Procédé A. Buisine et P. Buisine. — Dans ce procédé, on fait usage du sulfate ferrique, obtenu d'une façon économique par le grillage des pyrites.

Lorsqu'on introduit du sulfate ferrique dans les eaux d'égout, les sels alcalins et alcalino-terreux qui s'y trouvent toujours le décomposent en oxyde ferrique qui se précipite.

Dans sa précipitation, l'oxyde ferrique entraîne les matières en suspension; il forme des combinaisons avec les matières albuminoïdes et les matières grasses; quant aux matières colorantes, elles donnent des laques, et l'hydrogène sulfuré est fixé par le fer.

Les microorganismes sont éliminés en grande partie, par la précipitation de l'hydrate d'oxyde ferrique, englobés en quelque sorte dans les laques formées avec les matières organiques

Des expériences faites sur des eaux d'égout de Paris ont fourni les résultats suivants :

Les eaux, après une première décantation dans des bassins, donnèrent par mètre cube $1^{kg},053$ de produit sec renfermant 1,08 0/0 d'azote ; elles furent ensuite traitées par du sulfate ferrique, dans les proportions de 100 grammes par mètre cube.

A la suite de cette addition de sulfate ferrique, on obtint un précipité, qui, par dessiccation, pesait $0^{kg},318$ et titrait 2,18 0/0 d'azote.

Les matières organiques en dissolution diminuèrent sensiblement par ce traitement, et l'eau qui contenait $0^{gr},600$ de matières organiques en dissolution avant l'épuration n'en accusait plus que $0^{gr},065$.

D'après ces résultats, on éliminerait donc les 9/10 des matières organiques en solution, la totalité de celles qui sont en suspension, et, de plus, une proportion variant de 60 à 90 0/0 des microorganismes primitivement contenus dans l'eau.

Ce traitement donne une eau claire, limpide, incolore, et ne renfermant qu'une faible quantité de matières organiques en solution, ce qui permet de la considérer comme imputrescible.

En admettant le chiffre de 100 grammes de sulfate ferrique, le procédé reviendrait à un demi-centime environ par mètre cube d'eau traitée.

Procédé Sillar. — Ce procédé, qui a joui d'une certaine faveur en Angleterre, a pour base un mélange de trois réactifs principaux, qu'on désigne par les trois lettres A, B, C, l'alun, le sang et le charbon.

En dehors de ces trois réactifs, on y adjoint généralement d'autres produits, de l'argile, du manganate de potasse, du calcaire magnésien, du chlorure de sodium et de la magnésie, ce qui, finalement, donne un mélange des plus complexes.

Les sels en solution sont précipités par ce réactif ; mais les matières azotées, cause de la putréfaction, sont traitées d'une façon absolument imparfaite.

Du reste, d'après les expériences de Leicester, il résulte que les eaux contiennent une quantité d'ammoniaque plus grande après leur traitement.

Comparé au procédé à la chaux, les boues renferment plus d'ammoniaque, car elles sont acides, tandis que, par le traitement à la chaux, les boues, étant alcalines, sont tout à fait propices à le dégager et par conséquent à perdre leur ammoniaque en se séchant.

Procédé Anderson. — Le procédé Anderson consiste à faire passer lentement l'eau à épurer sur des morceaux de fonte renfermés dans un cylindre horizontal animé d'un mouvement de rotation autour de son axe.

En absorbant l'oxygène dissous dans l'eau, le fer se transforme en protoxyde et entre en dissolution ; l'eau sort du cylindre et passe dans un conduit large et de faible profondeur, à ciel ouvert, afin de permettre à l'air d'arriver à son contact, et de produire l'oxydation ; enfin l'eau passe dans un réservoir en ciment ouvert aussi à sa partie supérieure.

Par suite de la peroxydation du fer par l'oxygène, il se précipite de l'hydrate d'oxyde ferrique, qui entraîne de la matière organique en dissolution ; on laisse reposer un peu, et finalement on filtre à travers des couches de sable.

Il résulte des expériences que M. Schützenberger a entreprises sur ce procédé que les matières organiques dissoutes et le nombre de bactéries diminuent notablement, mais sans que, cependant, ces agents pathogènes disparaissent complètement.

Procédé Suvern. — Ce procédé, qui donne une épuration incomplète, est surtout employé en Angleterre ; il consiste dans le traitement des eaux par un mélange de :

Chaux éteinte.	100	parties
Chlorure de magnésium	15	—
Goudron de houille.	15	—

Procédé Defosse. — Le procédé Defosse comprend trois phases :

1° Une décantation et une précipitation préalable, à l'aide de trois réactifs combinés : sulfate d'alumine, permanganate de potasse et chaux;

2° Une filtration rapide sur de la tourbe;

3° Une dernière filtration sur un lit de minerai de fer et de calcaire.

Les eaux à traiter sont d'abord décantées dans un bassin muni de chicanes, où la plus grande partie des graisses, par un remous qui se produit, est alors attirée à la surface du liquide, et les différents corps gras, qui sont dans la partie supérieure, se déversent dans un puisard permettant de les recueillir.

Ces graisses peuvent être traitées par des procédés de purification spéciaux, en vue d'obtenir des produits de valeur commerciale.

A la sortie du bassin de décantation, les eaux sont envoyées dans un bac à réactifs, où ces corps : sulfate d'alumine, permanganate de potasse et de chaux, sont mélangés en proportions différentes, suivant la nature de l'eau.

Ce mélange de réactifs est lui-même déversé automatiquement, après réglage, par des flotteurs placés sur l'eau à épurer et commandant le débit du réactif.

Les précipités formés et les matières en suspension se déposent, sous forme de boues, dans des bassins qui se vident et se remplissent alternativement; puis ces dépôts sont ensuite évacués de la partie inférieure des bassins, par une soupape à vantelle, dans des citernes spécialement affectées à cet effet.

Ces eaux s'échappent des bassins de décantation et vont traverser des filtres de tourbe et passent sur un lit de minerai artificiel de fer, extrêmement poreux, puis sur un lit de calcaire.

Le minerai de fer artificiel, fabriqué pour ce procédé, est une combinaison de fer, de manganèse et de charbon.

Selon M. Defosse, ce minerai a pour but de former, au contact de l'eau contenant des matières organiques, des carbonates et des oxydes hydratés, dont la peroxydation se poursuit.

Comme, après ce passage sur ce minerai, les eaux entraînent une certaine quantité de fer en solution, on les envoie sur un calcaire quelconque, afin de le précipiter à l'état de carbonate de fer.

Le minerai de fer étant soumis à une usure excessivement lente et graduelle, la dépense, de ce côté, serait faible.

Cette épuration peut se faire avec 120 grammes de réactif (permanganate, chaux, charbon) par mètre cube d'eau d'égout, ce qui reviendrait à 0,00518 par mètre cube.

Les matières grasses obtenues sont traitées, suivant les procédés de M. Souffrice de Saint-Denis, qui extrait des eaux grasses de différentes provenances et des écumes de la Seine, des graisses industrielles et de la stéarine.

Enfin les boues recueillies servent à fabriquer du gaz d'éclairage, dont le pouvoir éclairant est sensiblement supérieur à celui de la houille ; quant au résidu, restant dans les cornues, c'est un composé de potasse, de soude, de carbone et de matières légèrement phosphatées, qui peut servir comme poudrette pour les besoins de l'agriculture.

Procédé Scott. — Au lieu d'employer la chaux seule, on ajoute à l'eau d'égout un mélange de chaux et d'argile.

Les matières organiques forment environ le tiers du dépôt, et, en calcinant ce résidu, on obtient non seulement du gaz d'éclairage, mais encore du ciment.

Procédé Bird. — Les eaux d'égout sont traitées par un mélange d'argile et d'acide sulfurique; mais on fait suivre cette opération d'une filtration sur du coke, ce qui termine le traitement.

Des essais faits en Angleterre, à Strond, petite ville du comté de Glocester, ont permis de précipiter ainsi les 9/10

des matières en suspension et à réduire de près de moitié l'azote en dissolution.

Procédé Howatson. — Ce procédé consiste à mélanger, au fur et à mesure, les eaux résiduaires avec un produit, que son auteur désigne sous le nom de « ferozone », préparé de différentes manières suivant les eaux à épurer, mais qui contient une grande proportion de sels ferreux ou ferriques.

Deux échantillons de ferozone ont donné à l'analyse la composition suivante :

	A	B
Sulfate de protoxyde de fer anhydre.	1,33	0,80
— de sesquioxyde de fer anhydre.	1,00	0,05
— d'alumine anhydre.	36,29	30,13
Partie insoluble (y compris un peu de carbone).	32,40	26,56
Humidité et indosé	28,98	42,46
	100,00	100,00

Sulfate d'alumine.	69,00	85,1 0/0 soluble
— ferreux	10,50	
— ferrique.	5,60	
Oxyde ferrique	12,50	14,9 0/0 insoluble
Alumine et silice.	2,40	
	100,00	

Les sels solubles, que ce produit contient, précipitent rapidement les matières solides en suspension, et préparent les matières putrescibles à une oxydation ultérieure.

Une fois la précipitation terminée, le liquide est décanté; on le fait passer au travers de filtres spéciaux, pour retenir les particules en suspension qui peuvent rester après la décantation, et, de plus, afin de l'aérer convenablement.

Enfin les eaux sont envoyées sur une matière dénommée « polarite » qui possède une certaine puissance d'oxydation, et ayant pour but de détruire les matières organiques.

La polarite est une substance noire, dure, très poreuse, insoluble et inoxydable, ayant la propriété de conserver

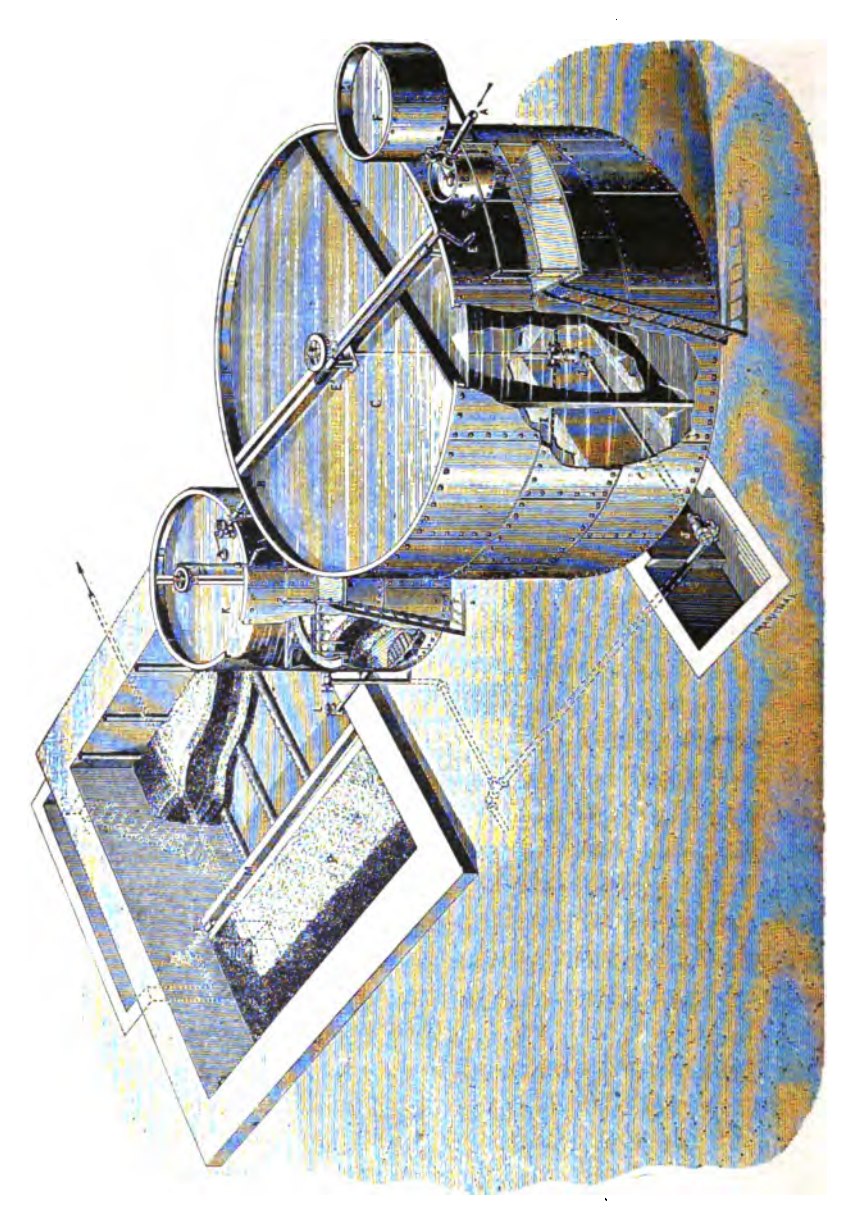


Fig. 117. — Epuration des eaux résiduaires par le procédé Howatson.

de l'oxygène dans ses pores; sa composition est la suivante :

Oxyde de fer magnétique	54
Silice	25
Chaux	2
Alumine	6
Magnésie	7
Alcalis	6
	100

Les matières organiques en suspension ou en dissolution sont oxydées et transformées en acide carbonique et acide nitrique.

Après son passage sur la polarite, l'eau apparaît suffisamment claire et limpide pour être envoyée à la rivière.

Pour les eaux résiduaires, il est bon de faire subir une décantation préalable dans des bassins, afin de retenir le plus possible de matières en suspension.

Quant aux boues provenant du traitement par le ferozone, elles sont envoyées, après leur décantation, dans des filtres-presses, afin de les débarrasser du liquide et de les transformer en tourteaux.

Procédé Piet et Dumas. — On envoie l'eau résiduaire dans un réservoir contenant 1 kilogramme de chaux vive par tonne d'eau à épurer; les matières albuminoïdes et les sulfates sont précipités.

Après avoir décanté, on ajoute au liquide de l'hypochlorite de soude ou de chaux, en dose telle que, par mètre cube d'eau, on introduise 15 litres de gaz chlore.

On laisse la réaction se faire pendant six heures; ensuite on envoie dans le liquide de l'acide carbonique, afin de précipiter la chaux; enfin une décantation et une filtration terminent le traitement.

Procédé électro-chimique Webster. — Dans le procédé électro-chimique Webster, on fait passer un courant électrique dans les eaux résiduaires ou eaux d'égout,

à l'aide d'une dynamo communiquant par des fils conducteurs à des électrodes en fonte de qualité ordinaire.

Avec les eaux d'égout de Paris, il suffit d'envoyer un courant de 0,05 ampère-heure par litre ; les eaux résiduaires nécessitent un courant plus intense; bien que purifiées incomplètement, elles deviennent cependant assez claires et inodores.

On ne fait usage d'aucun réactif additif, la nature des eaux électrolysées suffit ; en effet, elles renferment des chlorures, surtout du chlorure de sodium et de magnésium, qui, sous l'influence du courant électrique, se décomposent, et le chlore se dégage, avec l'oxygène, à l'électrode positive.

A l'électrode négative se forment de l'ammoniaque, de la soude, de la potasse et de la magnésie.

Le chlore et l'oxygène formés agissent énergiquement sur les matières organiques, qui s'oxydent rapidement ; dans leur union, les deux gaz forment avec l'eau de l'acide hypochloreux et des oxydes de chlore divers. De cette acidité résulte l'attaque des matières organiques et de la fonte de l'électrode ; il se produit des combinaisons des acides avec le fer, parmi lesquels M. Webster admet, en grande partie, la formation d'hypochlorure de fer.

Cet hypochlorure de fer produit à l'électrode positive est soumis à l'influence de l'ammoniaque libre, de la soude, de la potasse et de la magnésie, ce qui provoque la précipitation d'un hydrate d'oxyde de fer qui s'unit aux matières organiques.

Par l'hydrate d'oxyde de fer et par l'hyperchlorure de fer formés, il s'ensuit non seulement une attaque des matières organiques en suspension, mais encore de celles qui sont en solution.

Sous l'influence des bulles d'hydrogène, dégagées de l'électrode négative, les matières traitées sont d'abord entraînées vers la surface ; mais elles redescendent aussitôt.

Procédé électro-chimique Hermite. — Le procédé électro-chimique Hermite, de purification des eaux résiduaires, repose sur le principe suivant :

Si l'on fait passer un courant électrique dans une dissolution de chlorure, de préférence un mélange de chlorure de magnésium et de sodium, comme l'eau de mer, il se produit une décomposition de l'eau et du chlorure.

Il se forme, par suite, à l'électrode + un composé oxygéné du chlore, très instable, mais ayant un grand pouvoir oxydant, et par conséquent très propre à la désinfection.

A l'électrode négative, il se produit un oxyde qui peut précipiter certaines matières organiques.

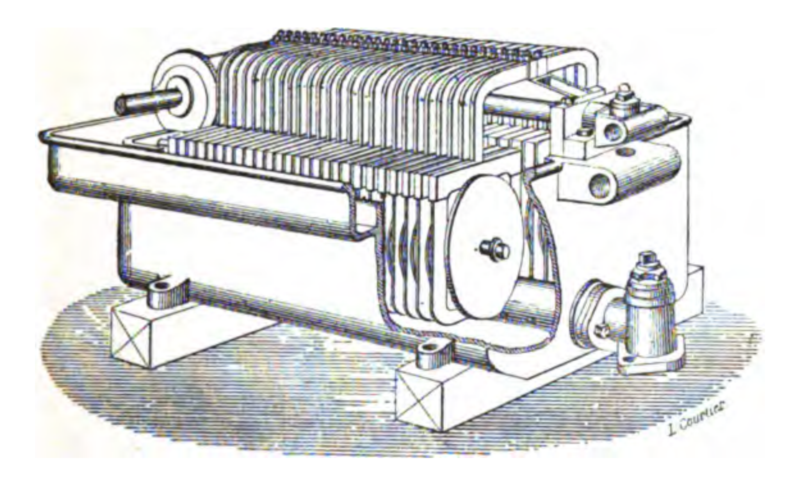


Fig. 118. — Ensemble de l'appareil électrolytique Hermite.

Le résultat de l'électrolyse est donc de former un liquide capable :

1° D'amener la destruction des matières organiques, résultant de la putréfaction, ainsi que les gaz, tels que l'hydrogène sulfuré, le sulfhydrate d'ammoniaque, les carbures d'hydrogène et les microbes ;

2° De précipiter certains corps, tels que les matières albuminoïdes.

Deux façons peuvent être usitées dans l'épuration électro-

chimique des eaux résiduaires : la méthode directe et la méthode indirecte.

La méthode indirecte consiste à faire passer dans l'appareil électrolyseur l'eau résiduaire à épurer avec le mélange de chlorure à électrolyser, et l'eau sort de l'appareil après avoir subi son épuration.

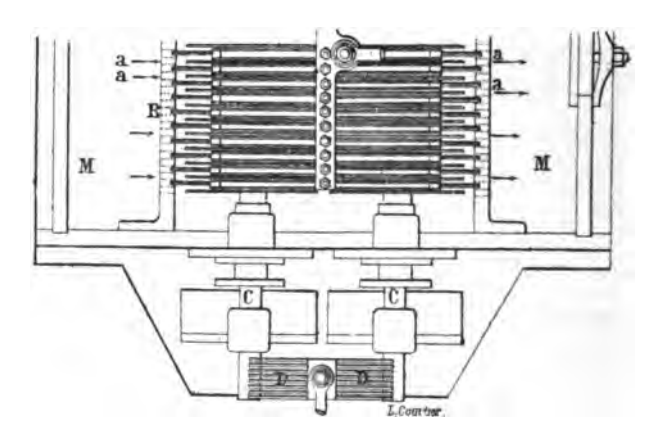


Fig. 119. — Plan de l'appareil électrolytique Hermite.

Par méthode indirecte, on entend la préparation séparée d'un liquide titré en composés oxygénés du chlore, par l'électrolyse d'un chlorure dans l'appareil, liquide qu'on introduit ensuite dans l'eau à épurer.

L'électrolyseur sert dans les deux cas et se compose d'une cuve en fonte galvanisée, à la partie inférieure de laquelle se trouve un tube percé de trous et muni d'un robinet en zinc pour livrer passage au liquide à électrolyser (chlorure seul ou mélangé au liquide à purifier).

Enfin la cuve présente un rebord à la partie supérieure formant cuvette, dans laquelle le liquide déborde et s'en va par un tuyau, en formant ainsi un courant continu.

Les électrodes négatives sont constituées par un certain nombre de disques en zinc, montés sur deux arbres horizontaux et parallèles et tournant lentement.

Les électrodes positives, autrefois formées par de la toile

de platine, maintenue par un cadre en ébonite, sont maintenant confectionnées avec des ardoises percées de trous dans lesquels passe du fil de platine.

Ces électrodes positives sont placées entre chaque paire de disques de zinc et portent soudée, à leur partie supérieure, une armature en plomb, permettant de les faire toutes communiquer ainsi à une barre de cuivre qui traverse l'électrolyseur.

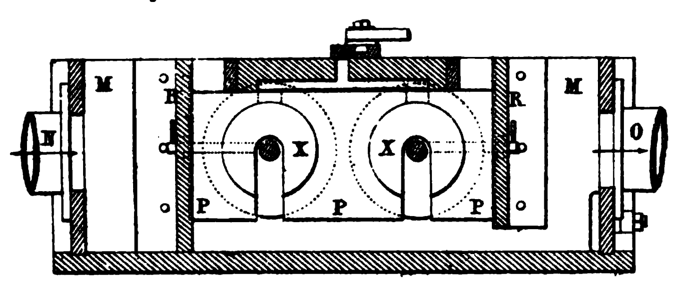


Fig. 120. — Coupe transversale de l'appareil électrolytique Hermite.

Cette barre de cuivre, réprésentant l'électrode positive, est, en conséquence, reliée au pôle positif d'une dynamo; le courant passe ensuite dans les cadres platinés, puis, aux disques de zinc formant électrode négative, et mis en communication, par la cuve en fonte, au pôle négatif de la dynamo.

Enfin des couteaux flexibles, en ébonite, placés sur les cadres positifs, pressent contre les disques en zinc qu'ils nettoient par le frottement.

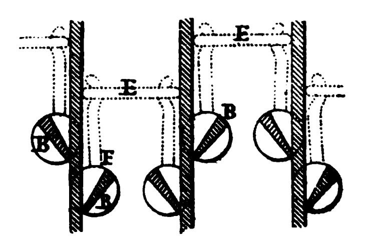


Fig. 121. — Coupe horizontale du dispositif des couteaux.

Les chlorures employés de préférence sont d'abord : le chlorure de magnésium, seul, ou mélangé avec le chlorure de sodium ou de potassium, ensuite l'eau de mer, puis le chlorure de sodium, le chlorure d'aluminium et le chlorure de fer.

Dans l'électrolyseur, on fait passer généralement un courant de 1.000 à 1.200 ampères avec une force électromotrice de 5 volts.

Lorsqu'on veut employer plusieurs électrolyseurs, on les monte en tension.

Procédé Oppermann appliqué à la sucrerie de Lambres, près de Douai. — Ce procédé a pour but de faire réagir un mélange de perchlorure de fer et de dolomie calcinée sur les eaux résiduaires.

Employé, surtout en Allemagne, dans le traitement des eaux vannes de sucrerie, où il fournit d'excellents résultats, M. Manoury a fait de semblables essais, en France, sur ce procédé dans la sucrerie de Lambres, près de Douai, expériences qui ont été des plus concluantes ; non seulement M. Manoury en a donné communication au *Journal des fabricants de sucre*, mais encore elles ont fait l'objet d'un rapport de l'ingénieur des Ponts et Chaussées au préfet du Nord.

Il n'est pas douteux qu'en dehors de la sucrerie, où ce procédé semble avoir été appliqué jusqu'à présent, il trouverait son emploi efficace au traitement des eaux résiduaires de bien d'autres industries.

Après avoir préparé une solution de sulfure de sodium, on la verse dans une solution de perchlorure de fer, dont une partie se transforme en sulfure de fer ; le mélange, ainsi obtenu, est introduit dans un tonneau muni d'une ouverture dont on règle l'écoulement.

Ce mélange est déversé dans un bassin contenant l'eau à épurer ; lorsque le mélange est bien fait, on verse à quelques mètres plus loin, un lait de dolomie, pour amener la précipitation des impuretés.

Par l'action du protochlorure de fer en présence du sulfure de fer et du lait de dolomie calcinée, on a la réaction suivante :

$$6FeCl^2 + FeS + 6(CaO + MgO) = 6FeO + FeS + 6CaCl^2 + MgO;$$

on obtient de l'hydrate de protoxyde de fer, de l'oxyde de magnésium, du sulfure de fer et du chlorure de calcium.

La plus grande partie de la chaux s'est combinée au chlore, pour donner du chlorure de calcium, et l'acide carbonique intervient aussi pour carbonater l'autre partie de la chaux; il n'y a donc que de la magnésie, qui est un corps plus avantageux que la chaux, car elle est au contraire peu soluble dans l'eau, et par sa faible causticité elle exerce une action insignifiante sur la solubilisation des matières organiques.

Avec la magnésie, il s'est formé de l'hydrate de protoxyde de fer et du sulfure de fer; le protoxyde de fer s'oxyde rapidement sous l'influence de l'air et se transforme en peroxyde de fer.

En présence du peroxyde de fer et à son détriment, le sulfure de fer s'oxyde à son tour, pour donner du sulfate de fer qui entre en solution, lequel brûle les matières organiques, en les oxydant, et d'après cette réaction passe à l'état de sulfure de fer qui précipite.

Mais ce sulfure de fer se trouve être au contact du peroxyde de fer, qui entre en solution, prêt à exercer son action de destruction des matières organiques, tant qu'il en restera, par suite des réactions cycliques que nous venons d'examiner.

L'épuration de 40.000 hectolitres d'eaux vannes par jour, provenant de la sucrerie de Lambres, est estimée à 100 francs.

M. Opperman a combiné récemment le traitement par dolomie avec celui à l'ozone et l'a appliquée à l'épuration des eaux d'égout.

Procédé Gaillet et Huet, appliqué à la sucrerie centrale de Flavy le Martel. — Ce procédé, employé pour les eaux résiduaires des diverses industries, et notamment pour les eaux vannes de sucrerie, à la Sucrerie centrale de Flavy-le-Martel, consiste à employer le perchlorure de fer et la chaux.

On remplit d'abord un tonneau d'une solution de perchlorure de fer, et on déverse son contenu par une ouverture réglée dans un bassin renfermant les eaux vannes à épurer.

L'eau, ainsi mélangée, continue son cours ; puis, un peu plus loin, on fait couler un lait de chaux par le robinet d'un malaxeur, dans lequel on éteint continuellement de la chaux.

Il se forme un précipité d'oxyde de fer, suivant la réaction,

$$Fe^2Cl^6 + 3Ca(OH)^2 = 3CaCl^2 + Fe^2O^3 + 3H^2O,$$

qui entraîne, par son poids considérable, le coagulum de chaux et de matières organiques en suspension ; on obtient des boues chaulées, qui peuvent être utilisées comme un engrais, riche en principes fertilisants.

On peut estimer, avec M. Vivien, le prix de revient de ce traitement, à la Sucrerie centrale de Flavy-le-Martel, de la façon suivante :

Un fût de perchlorure de fer, soit 240^k à 6^f,75 les 100^k,
ou : 16^f,200
Transport du fût. . . . 1^f,775
17^f,775

Chaux 3 mètres cubes 500 à 14^f les 100^k,
soit : $700 \times 3{,}500 = 2{,}450^k$
c'est-à-dire $\frac{14^f \times 2{,}450}{1000} = 34^f{,}30.$

Main-d'œuvre, deux hommes 1, de jour et 1 de nuit à 2^f,25
ou 4^f,50

Total = 56^f,775

Le coût du traitement journalier à Flavy-le-Martel est de 56 fr. 775 pour traiter 14.000 hectolitres d'eaux vannes, c'est-à-dire de $\frac{56{,}775}{14{,}000} = 0{,}004$ par hectolitre d'eau à épurer.

Récupération de résidus dans les eaux de teinturerie. — Si l'on rejette les bains et eaux de lavages,

après les opérations effectuées en teinturerie, on s'expose à entraîner des corps, ayant une valeur appréciable, dont leur récupération, sagement conduite, pourrait procurer de bons bénéfices à l'industriel, qui ferait subir un traitement à ses produits résiduaires.

En dehors de la récupération du carbonate de potasse provenant du travail des laines, qui sera examinée, à propos du traitement des eaux savonneuses, les teinturiers ont un avantage réel à récupérer l'étain du bichlorure employé pour charger les soies.

Après avoir été mordancées, les soies sont pressées ou essorées ; on les lave ensuite, à grande eau, et, pendant ce lavage, une décomposition du bichlorure d'étain se produit, une partie reste dans ce bain, et l'autre se fixe sur la soie.

Pour récupérer cet étain perdu, M. Martineau sature les eaux de lavage avec de la chaux ; après agitation, de l'oxyde d'étain se précipite, et on le recueille sur des toiles.

On obtient ainsi une pâte renfermant 15 0/0 d'oxyde d'étain, qui permet d'extraire l'étain métallique, ou de régénérer le bichlorure, en traitant la pâte par l'acide chlorhydrique.

Dans les cuves d'indigo, il arrive souvent qu'on obtient des pâtes d'indigo et des dépôts, soit par ce que l'indigo a été mal broyé ou que les cuves ont été mal conduites ; on a dans ce cas avantage à récupérer l'indigo contenu dans ces dépôts.

A cet effet, M. Garçon conseille de traiter les dépôts des cuves par de l'acide chlorhydrique en excès ; la chaux et l'oxyde de fer sont alors transformés en chlorures solubles.

On recueille le résidu sur des toiles, et on le lave ensuite ; on retire ce résidu, qui contient l'indigo, et on le traite par un dissolvant approprié, comme l'hydrosulfite de sodium.

§ 2. — LES EAUX SAVONNEUSES ET LEUR ÉPURATION

Les eaux savonneuses sont des eaux résiduaires, qui méritent une certaine considération de la part des industriels, car elles sont des plus rémunératrices.

Elles permettent d'extraire de la potasse et des corps gras, qui ont une grande valeur, étant donnés les emplois auxquels on peut les destiner.

Par eaux savonneuses, on entend généralement toute eau renfermant du savon en plus ou moins grande quantité; mais on considérera ici, comme eaux savonneuses, celles qui proviennent des peignages et tissages des laines, des foulages des draps, du décreusage et de la cuisson des soies, du blanchissage des tissus, des teintureries en rouge turc et des bains usés de teinture.

Les eaux provenant du travail des laines brutes sont surtout l'objet d'une épuration avantageuse.

On distinguera trois sortes de ces eaux :

1° Les eaux de désuintage.

Ces eaux sont fournies par le lavage à l'eau froide des laines en suint; elles contiennent de la potasse, que l'on extrait par évaporation à siccité.

L'extraction de la potasse se fait encore aujourd'hui par le procédé Maumené et Rogelet; les eaux, après avoir passé sur plusieurs laines, pour s'enrichir, sont conservées, comme eaux de suint, lorsqu'elles marquent 10° à 12° B.

On les évapore ensuite à siccité, et le résidu, calciné dans les cornues, fournit un gaz pouvant être utilisé à l'éclairage.

Le résidu obtenu, à la suite de cette calcination, repris par l'eau, procure un salin potassique brut, titrant environ 70 à 80 0/0 de carbonate pur, avec un rendement de 5 à 7 kilogrammes de salin brut pour 100 kilogrammes de laine en suint.

Les industriels ont donc avantage à faire un désuintage préalable, car non seulement il donne un bénéfice,

mais encore il facilite considérablement l'épuration chimique.

2° Les eaux vannes de lavage :

Elles proviennent du lavage à chaud des laines désuintées ou à dos par le savon.

Ces eaux sont les plus abondantes dans le travail des laines, et comme elles renferment de grandes quantités de matières putrescibles, elles nécessitent, par conséquent, une épuration des plus sérieuses.

3° Les eaux de lissage des laines.

Dans ces eaux se trouvent les huiles, qui ont été introduites pour faciliter le peignage de la laine et le savon qu'on a employé pour émulsionner ces huiles.

Le traitement de ces eaux ne souffre aucune difficulté ; il suffit de faire une addition d'acide chlorhydrique pour obtenir un magma, qui, pressé, produit une matière grasse, pouvant être utilisée à la fabrication des savons, et estimée de 60 à 80 francs les 100 kilogrammes. Les eaux vannes de lavage des laines sont celles qui présentent le plus de difficulté à épurer. Leur composition est extrêmement variable, car elle dépend de la concentration des eaux, de la nature de la laine et des traitements qu'on lui a fait subir.

Aussi est-il bon d'envisager les eaux vannes de lavage des laines, dans la pratique de l'épuration, comme contenant :

a) Des matières organiques, formées, d'une part, de corps gras et, d'autre part, de corps organiques quelconques ;

b) Des matières minérales solubles et insolubles.

Avant le rejet des eaux à la rivière, deux procédés peuvent être employés pour épurer les eaux vannes, à l'usine même qui leur a donné naissance, ou bien par un traitement total des eaux de différentes usines d'une région industrielle qui sont reçues dans un collecteur et traitées en un endroit convenablement choisi.

Le traitement des eaux, dans les usines génératrices, a l'avantage de pouvoir être appliqué régulièrement en con-

naissance de cause en fournissant un bénéfice de récupération des sous-produits, à l'industriel même.

En effet les eaux de chaque usine, étant presque toujours souillées par les mêmes matières, présentent, par suite, une composition connue, pour laquelle une méthode d'épuration peut être élaborée justement; de plus la richesse en matières grasses, étant généralement très élevée, leur récupération est réellement avantageuse.

Dans le rejet des eaux des usines d'une région industrielle, dans un collecteur, comme cela se fait pour les villes de Roubaix et de Tourcoing, la composition du liquide, résultant des eaux vannes d'industries les plus diverses, est non seulement complexe, mais très variable.

La récupération, dans une usine centrale des produits qui y sont contenus, devient alors souvent hypothétique; car, de plus, la richesse en produits extractibles est parfois trop faible pour payer les frais de récupération.

Nous allons examiner quelques procédés employés dans certaines usines, où s'écoulent des eaux savonneuses, notamment celles de provenance de l'industrie lainière.

Ensuite, nous passerons en revue les essais des procédés expérimentés pour l'épuration totale des eaux déversées dans un collecteur, au moyen d'une usine centrale, en prenant pour type d'eau celle de l'Espierre.

A. — Épuration des eaux savonneuses a l'usine génératrice

Procédé Vohl. — Ce procédé a surtout été préconisé, dans les savonneries, pour les eaux savonneuses provenant du décreusage de la soie et de la teinture en rouge turc.

Les eaux savonneuses sont traitées par du chlorure de calcium, jusqu'à complète précipitation; le précipité est recueilli, pressé, puis envoyé dans une cuve doublée de plomb, où on le décompose par de l'acide chlorhydrique du commerce, mais exempt d'acide sulfurique.

On injecte un courant de vapeur, dont l'excès et les gaz, qui proviennent de cette réaction, traversent une boîte garnie de chaux et s'échappent dans la cheminée.

Les gaz malsains et odeurs mauvaises sont éliminés ; les acides gras fluides viennent à la surface du liquide ; on laisse reposer pendant six heures, et l'on extrait par la partie inférieure du réservoir, au moyen d'un robinet de fond, le liquide contenant le chlorure de calcium qui peut être utilisé pour une autre opération.

On ajoute de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique dans la cuve, et après avoir envoyé de la vapeur d'eau pendant une demi-heure, on laisse reposer le tout.

Le liquide acide clair est soutiré, et la couche d'acide gras, émulsionné, est reprise pour être traitée spécialement, soit seulement pour enlever l'eau, soit pour enlever l'eau et blanchir en même temps.

Cette déshydratation se fait en chauffant, dans une chaudière à feu nu, les acides gras émulsionnés avec du sel marin, ou bien en vaporisant l'eau par un serpentin de vapeur.

Si l'on veut blanchir et déshydrater les acides gras, et par suite augmenter leur volume, on introduit les acides gras chauds, après un lavage à l'eau chaude, dans une cuve en plomb munie d'agitateurs et chauffée par un serpentin de vapeur.

On ajoute une liqueur d'acide sulfurique et de chromate de potasse, en brassant pendant une demi-heure et après, on laisse reposer pendant six heures, pour séparer les acides gras.

La couche inférieure du liquide est constituée par de l'alun de chrome ; on la soutire et on répète l'opération cinq à six fois, suivant le degré de blanchiment que l'on veut obtenir.

Finalement, les acides gras, après repos et soutirage des eaux claires, sont déshydratés par distillation.

A cet effet, on introduit les acides gras dans un appareil

distillatoire avec 14 à 15 0/0 d'essence minérale, et l'on distille.

L'essence minérale employée peut resservir pour une autre opération ; si l'on veut effectuer la séparation des acides gras concrets, on introduit le mélange d'acides gras, encore chauds, déshydratés et blanchis, dans une cuve, et on les laisse refroidir lentement à 9° ; les acides gras, concrets, se réunissent au fond de la cuve, en formant une cristallisation ; il ne s'agit alors que de les recueillir et de les presser à froid pour obtenir une séparation définitive.

Afin d'éviter, dans le traitement des eaux savonneuses, la formation de sulfate alcalin par l'acide chlorhydrique impur qui contient de l'acide sulfurique et gêne la séparation des acides gras, M. Vohl a proposé de remplacer le chlorure de calcium par le chlorure de magnésium.

Traitement par le chlorure de sodium. — Comme le précédent, ce procédé est employé pour les eaux savonneuses d'une certaine pureté.

On ajoute à l'eau savonneuse du sel marin, de façon à la saturer ; le savon vient à la surface de l'eau sous forme de grumeaux, qu'on décompose par de l'acide sulfurique, pour séparer les acides gras.

Traitement par le carbonate de sodium. — Le traitement par le carbonate de sodium est employé, de préférence, dans le même cas que les précédents.

Pour cela, il suffit d'introduire du carbonate de sodium dans les eaux savonneuses et de les chauffer, pendant une demi-heure, environ, à la température de 60°.

Il se forme une écume à la surface du liquide ; on la recueille et on la traite par de l'acide chlorhydrique ou sulfurique pour mettre les acides gras en liberté.

Epuration à l'usine de peignage de laines Holden, à Croix. — Le mode d'épuration employé à l'usine Holden,

la grande usine de peignages de Croix, dans le département du Nord, est aussi employé, au Cateau, à l'usine de M. Seydoux.

Les eaux savonneuses à épurer présentent la composition suivante, par mètre cube :

Matières grasses	9k500	13k34
— organiques	3 841	
— minérales solubles ou insolubles	7 082	
	20k423	

elles passent dans un bassin en tôle, doublé de plomb, dans lequel on introduit 5 kilogrammes d'acide chlorhydrique du commerce à 22° B. par mètre cube.

Il se produit aussitôt une décomposition des graisses en acides gras, et un magma vient à la surface de l'eau qui renferme la majeure partie de la graisse et des matières terreuses.

Le magma obtenu présente la composition suivante :

Graisse	43,30
Matières organiques	18,83
— terreuses	37,87
	100,00

Après repos, on fait couler l'eau claire, qui renferme encore :

Matières grasses	1k100
— organiques	1 672
— minérales	1 145
	3k917

Mais l'eau qui s'écoule étant acide, on sature cette acidité par de la chaux, on obtient encore un précipité qui renferme, selon M. Goblet, 1kg,390 de graisse et de matières organiques par mètre cube; dans ce précipité, se trouve aussi une forte proportion de matières minérales.

Généralement le précipité est délaissé, et les eaux, après le passage à la chaux, sont rejetées telles quelles ou après décantation dans le collecteur de l'Espierre.

Le coût de ce traitement par mètre cube, en tant que réactifs, peut être établi ainsi :

Acide chlorhydrique du commerce, 5^k à 4^f les 100^k . .	0,20
Chaux.	0,02
	0,22

Le magma obtenu par l'acide chlorhydrique est ensuite pressé à chaud ; il fournit une graisse non saponifiable ; le résidu contenant encore de la matière grasse est traité par le sulfure de carbone ; finalement, il reste un tourteau pesant 1 kilogramme pour 1 kilogramme de laine peignée et titrant 1 0/0.

A l'usine Holden, la graisse récupérée est estimée à 25 francs les 100 kilogrammes, et comme on en extrait 6 kilogrammes par mètre cube, ce traitement fournit donc pour 1 fr. 50 de graisse par mètre cube.

En tenant compte du coût des réactifs, il y aurait donc une somme de 1 fr. 50 — 0 fr. 22 = 1 fr. 28, somme largement suffisante pour payer les frais divers de main-d'œuvre et d'entretien et pour permettre de réaliser un bénéfice.

Procédé J. de Mollins. — L'argile exerce sur les eaux vannes une clarification, par formation d'un coagulum, sous l'influence de certaines substances contenues dans l'eau.

Dans les eaux savonneuses, lorsque le savon est simplement en solution, il ne se produit pas un précipité abondant; l'argile gagne le fond du liquide, et l'eau reste trouble.

Si, au contraire, l'eau renferme des acides gras en émulsion, en ajoutant un lait d'argile, il se produit : un précipité volumineux qui se dépose.

En prenant des eaux vannes perdues du peignage des laines acidulées par de l'acide chlorhydrique, on a une émulsion de corps gras, qui, traitée par 1 gramme d'argile bleue, ou terre glaise, à 15 à 20 0/0 d'eau par litre, précipite des flocons volumineux, et en se rassemblant rapidement, entraîne les corps gras et une grande partie des matières azotées en solution.

En recueillant le magma formé, on obtient environ $1^{gr},5$ à $1^{gr},7$, à 100°, d'un produit, qui, traité par le sulfure de carbone, fournit 30 0/0 d'une graisse blonde fondant à 34 et 35° et ressemblant à une bonne suintine.

On pourrait, si l'on voulait, ne pas extraire la matière grasse de ce magma, mais le traiter pour en faire du gaz d'éclairage.

Dans le traitement par le sulfure de carbone, des tourteaux, après l'extraction de la graisse, accusaient la composition suivante :

Eau.	4,40
Matières organiques.	28,00
Cendres.	67,60
	100,00

Ces tourteaux renferment 1,19 0/0 d'azote, ce qui prouverait que le précipité argilo-graisseux avait éliminé une notable quantité de matières organiques azotées.

En employant 1 kilogramme d'argile par mètre cube d'eau, on est parvenu à éliminer $0^{kg},787$ de matières organiques, ainsi réparties :

Matières organiques.	$0^{k}4570$
Matières organiques diverses et azotées. . .	$0^{k}3304$
	$0^{k}7874$

L'élimination de ces 787 grammes de matières organiques nécessite une dépense de 1 kilogramme d'argile, à 2 francs la tonne, c'est-à-dire à 0 fr. 002; cette dépense est calculée naturellement, en tant qu'argile, et sur l'épuration de seaux vannes acides perdues du peignage des laines.

On récupère, dans ce cas, la majeure partie des corps gras qui ont échappé à la précipitation de l'eau savonneuse par l'acide chlorhydrique.

Ce traitement par l'argile nécessite donc que les acides gras soient en liberté, et par conséquent, s'ils n'y sont pas, on doit décomposer les matières grasses au préalable, par une addition d'acide chlorhydrique à l'eau à épurer.

Épuration à l'usine de peignage de laines de MM. Delattre à Dorignies-les-Douai. — Cette question de l'épuration des eaux de peignage de laines étant très importante, nous allons examiner, complètement, les méthodes de traitement qui ont été employées à Dorignies-les-Douai à l'usine de MM. Delattre. Nous considérerons le procédé employé autrefois à l'usine de Dorignies et le nouveau procédé perfectionné dû à M. Delattre.

1° *Ancien procédé.* — Les eaux de lavage de laines sont envoyées dans des citernes de décantation ; dès que l'une des citernes est pleine, on fait arriver les eaux vannes dans une autre citerne.

Les matières solides se déposent sous forme de boues; des barrages en bois, superposés sur toute la hauteur, permettent, par leur enlèvement successif, de laisser couler l'eau et de recueillir les boues, suffisamment égouttées pour qu'elles puissent être enlevées à la pelle.

Ces boues renferment une assez grande quantité de laines et de matières minérales qui peuvent les faire utiliser comme engrais.

Après avoir été déversées, les eaux passent dans une citerne où on les additionne de réactif composé de perchlorure de fer acidulé par l'acide chlorhydrique; les matières grasses sont alors décomposées en acides gras, qui sont mis en liberté et viennent à la surface du liquide; on les écume et on les porte à l'usine.

Par le pressage des acides gras par la vapeur, on en

extrait de l'huile, qui peut servir à l'éclairage, car le gaz qu'elle fournit est très éclairant.

L'eau, après avoir été traitée dans les citernes à réactif, passe dans une cuve circulaire, dans laquelle on verse continuellement du lait de chaux, qui est mélangé au moyen d'un agitateur mécanique.

De cette action il résulte une neutralisation des eaux acides; de l'oxyde de fer se précipite, ainsi que des matières organiques, et l'eau est envoyée dans des bassins de décantation, où se déposent les matières précipitées.

L'eau sort claire par la partie supérieure des bassins de décantation, et de là est envoyée à la rivière.

Ces boues calcaires peuvent être pressées et fournissent des tourteaux comme résidus.

Ce procédé, employé autrefois à l'usine de MM. Delattre, préconisé par M. Gaillet, permettait de traiter les eaux; provenant des laines non désuintées, qui contenaient environ 30 kilogrammes de résidus par mètre cube, en éliminant 72 0/0 de matières organiques volatiles et 50 0/0 de matières organiques fixes; à Dorignies, on traite 1.000 mètres cubes d'eau en 24 heures; une installation analogue a été faite à Fourmies, où l'épuration des eaux vannes se produit par portion.

2° *Nouveau procédé*. — Dans l'industrie lainière, les laines en suint doivent subir, avant le travail mécanique, deux opérations qui ont pour but de les débarrasser de leurs matières étrangères :

1° Le désuintage, ou simple lavage, par lequel on enlève les matières solubles du suint;

2° Le dégraissage, par lequel on débarrasse, en faisant usage de carbonate de sodium et de savon, les corps gras insolubles et les différentes matières qui restent adhérentes aux fibres, après le désuintage.

Le résultat du désuintage et du dégraissage est la produc-

tion de quantités énormes d'eaux résiduaires, dites eaux de lavage.

Ces eaux de lavage doivent être considérées différemment, suivant qu'elles proviennent du désuintage ou du dégraissage.

En effet, les eaux de désuintage sont faciles à traiter, en vue d'obtenir de la potasse pouvant servir à la préparation du savon.

Dans ce cas, il suffit d'évaporer les eaux de lavage dans des fours spéciaux, suivant le procédé de MM. Maumené et Rogelet ; on obtient ainsi une transformation des eaux résiduaires en un produit rémunérateur.

Si les eaux de lavage provenant du désuintage se traitent facilement, il n'en est pas de même des eaux résultant du dégraissage.

Ces eaux de lavage des laines renferment une grande proportion de matières étrangères les plus variées, qui font que pendant longtemps ces eaux furent considérées comme inutilisables..

Ces dernières années, grâce aux efforts constants de MM. J. Delattre père et fils, les eaux de lavage de laines, à leur usine de Dorignies-lès-Douai, furent traitées parfaitement, à tel point qu'elles étaient suffisamment claires pour être rejetées au cours d'eau voisin.

On voit l'importance de cette question, si l'on considère qu'à l'usine de Dorignies seulement on lave et peigne, chaque année, 6 millions de kilogrammes de laines qui fournissent quotidiennement de 1.500 à 2.000 mètres cubes d'eaux résiduaires présentant la composition suivante par litre :

Matières insolubles	organiques........	30,46	32gr,30
	minérales.........	1,84	
Matières minérales	organiques........	2,35	4gr,45
	minérales.........	2,10	
			36gr,75

Après l'épuration, les eaux limpides sont rejetées dans le

canal de la haute Deule et présentent la composition suivante par litre :

Matières solubles	organiques........	0,35	$2^{gr},35$
	minérales.........	2	

En considérant ces résultats d'analyse, on est amené à conclure que, dans l'épuration, $34^{gr},40$ d'impuretés ont pu être séparés par litre d'eau ; on voit donc qu'il ne reste plus qu'une faible quantité de matières organiques et 2 grammes seulement pour les matières minérales.

A la suite de ces essais concluants, l'Administration des Ponts et Chaussées a permis l'écoulement à la rivière des eaux résiduaires ainsi traitées à l'usine de Dorignies, et le savant regretté, Aimé Girard, fit à ce sujet un rapport élogieux à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

Exposé du procédé. — Les eaux de lavage sont séparées en deux parties :

1° Les eaux de trempage provenant du désuintage, qui sont traitées pour en extraire la potasse par les moyens habituels ;

2° Les eaux vannes de lavage provenant du dégraissage, qui sont soumises au traitement particulier.

Ce traitement a pour but :

a) De procéder à une décantation préliminaire, par une disposition convenable agencée à une citerne étroite et profonde où se déposent les sables qui sont utilisés comme engrais ; ces matières étant très riches en azote, potasse et produits ammoniacaux ;

b) De séparer les matières graisseuses par de l'acide sulfurique en léger excès et de procéder à la neutralisation de l'acide par de la chaux ;

c) De traiter les résidus graisseux en vue d'obtenir, d'une part, de la graisse « suintine »; d'autre part, des tourteaux riches en matières fertilisantes, utilisables dans la confection des engrais.

Manuel opératoire. — Les eaux de lavages sont placées dans des bacs, munis à leur partie inférieure de soupapes servant à l'écoulement de ces eaux qui sont lancées avec force, dans un conduit central, en pente, en entraînant avec elles les sables qui y sont contenus.

Du conduit central, les eaux passent dans une rigole qui les amènent par deux ouvertures latérales dans une des deux citernes en maçonnerie, étroite et profonde, servant à recevoir les dépôts de sables.

Chaque citerne est munie, dans toute sa hauteur, de chicanes en bois qui forcent l'eau à effectuer un long parcours et à se débarrasser complètement de ses sables.

Deux grandes vannes placées sur chaque citerne permettent de faire leur vidange simultanément.

Par décantation, l'eau sort de la partie supérieure de la citerne, et elle est envoyée par une deuxième rigole, à l'acidulation, dans un grand réservoir en maçonnerie.

Afin d'obtenir une acidulation parfaite de la masse liquide, qui est la condition nécessaire de réussite de l'épuration, l'eau rencontre, avant d'arriver au réservoir en maçonnerie, une grande nappe d'acide sulfurique qui coule sur une plaque de verre; de plus, une suite de chicanes disposées dans la conduite facilitent encore le mélange qui se termine dans le grand réservoir, ayant une contenance de 500 mètres cubes environ.

L'acide sulfurique est étendu d'eau, de 20° B. à 22° B'., dans deux bacs doublés de plomb, dans lesquels se meuvent des agitateurs, puis l'acide ainsi mélangé est envoyé par des monte-acides à vapeur Kulmann.

On effectue ainsi la neutralisation de l'acide en excès dans les eaux traitées; pour cela, l'eau de lavage de laines sort par un déversoir dans un conduit; elle rencontre un lait de chaux préparé dans une cuve circulaire, au moyen de chaux éteinte mélangée par un agitateur.

Afin d'obtenir une régularité dans la neutralisation, on opère sur de grandes masses liquides; pour cela, après la

cuve circulaire, la neutralisation s'achève dans un grand réservoir spécial.

Lorsque la neutralisation dans le grand réservoir est terminée, l'eau épurée est limpide, et elle est envoyée à la rivière.

Récupération des sous-produits :

La laine brute renferme .

Laine dégraissée	40
Potasse	4,50
Acides gras	14 »
Terre, sable humide	41,50
	100,00

On voit qu'il y a le plus grand intérêt à récupérer les matières grasses.

Une exploitation traitant les eaux de lavage provenant de 6.000.000 de kilogrammes de laine brute par an fournit environ 840.000 kilogrammes de graisse.

En additionnant la quantité d'huile employée pour le savon de dégraissage et pour l'ensimage de la laine, c'est-à-dire 110.000 kilogrammes d'huile environ, on obtient un total de 950.000 kilogrammes de graisses pour la laine traitée.

Par le désuintage, une partie des graisses est emportée, et l'on considère le travail de récupération comme devant porter sur 60 0/0, c'est-à-dire sur 570.000 kilogrammes de graisse restant dans les eaux vannes.

Pour récupérer les graisses, on arrête d'abord l'entrée de l'eau dans les citernes, à eau acidulée, au bout de douze à vingt-quatre heures de travail, suivant le cas, puis on décante la partie claire après dépôt convenable.

Les boues sont envoyées par une vanne placée au fond de la citerne, dans un puisard profond, où une pompe les amène successivement dans deux monte-jus.

Un jet de vapeur arrive dans le monte-jus et se mêle aux boues, qui sont portées ainsi à une température de 80° environ.

Les boues d'écoulement du premier monte-jus sont envoyées par un second tuyau d'évacuation dans le deuxième monte-jus, où de là elles vont au filtre-presse.

Dans leur passage au filtre-presse, les boues entraînent 40 à 50 0/0 des graisses dans une citerne ; ces graisses sont recueillies par décantation dans un réservoir où elles sont épurées à l'acide, puis lavées à l'eau pure avant de les livrer au commerce.

Après les toiles des filtres-presse, il reste des tourteaux qui sont enlevés, séchés et broyés en vue d'extraire encore 20 à 25 0/0 de graisses qui y sont incorporées.

Pour faire cette extraction, on les traite par la benzine.

Les tourteaux broyés sont introduits dans une série de cylindres de 2 mètres de haut et 1 mètre de large, où s'effectue un épuisement méthodique par la benzine, par un passage successif de la benzine pure dans les cylindres contenant les tourteaux les plus épuisés jusqu'aux tourteaux bruts.

On arrête l'introduction de la benzine lorsque celle qui vient d'être introduite sur les tourteaux ne donne plus de graisses par évaporation sur une plaque de verre.

A ce moment, on écoule la benzine dans un réservoir central et on vaporise la benzine, qui imprègne encore les tourteaux au moyen d'un jet de vapeur; la benzine est ensuite condensée dans un réfrigérant, et de là elle retourne au réservoir central.

La benzine, chargée de graisse, est envoyée dans un distillateur où l'on sépare la benzine par condensation de ses vapeurs dans un réfrigérant, et de là on la fait passer dans le réservoir central, où elle est prête à resservir de nouveau.

Comme les précédentes, les graisses ainsi extraites sont épurées par l'acide et lavées à l'eau avant de les expédier.

Les graisses extraites des eaux de lavage des laines, ou suintine, forment environ 520.000 kilogrammes par an, au prix de 12 à 15 francs les 100 kilogrammes.

On admet qu'il reste 2 0/0 de graisse dans les tourteaux,

et on estime à 30 kilogrammes la perte de benzine pour 3.000 kilogrammes de tourteaux traités.

Les tourteaux dégraissés fournissent un excellent engrais, et, à l'usine de MM. G. Delattre père et fils, on retire un bénéfice très appréciable en les faisant entrer dans la composition de mélanges fertilisants vendus pour l'agriculture, en les additionnant de superphosphate de chaux.

RÉCUPÉRATION DE LA GLYCÉRINE DANS LES EAUX-MÈRES DE SAVONNERIE

La grande consommation de glycérine donne une importance particulière à sa récupération dans les industries de saponification, qui l'obtiennent en quantité considérable, comme sous-produit, malheureusement trop souvent délaissé.

De nombreux procédés ont été proposés, en vue d'effectuer cette récupération; mais bien peu sont susceptibles d'avoir une application réellement pratique.

L'extraction de la glycérine des eaux savonneuses, provenant des usines de peignage de laines ou des industries textiles en général, demande une étude spéciale, relative à la composition de l'eau résiduaire, objet d'une variation qualitative et quantitative continuelle, d'où il résulte une grande difficulté dans la pratique industrielle.

La récupération de la glycérine des eaux-mères de savonnerie, que nous allons examiner, peut être effectuée plus facilement, car le problème, posé une fois pour toutes, a pour but, étant donné un mélange aqueux de glycérine, de soude et de chlorure de sodium, d'en séparer la glycérine, d'une façon économique.

Un mode d'extraction de la glycérine consiste à saturer l'alcalinité de l'eau par de l'acide chlorhydrique, puis à évaporer le tout au bain-marie.

Il résulte de cette évaporation une masse poisseuse que

l'on reprend par de l'alcool à 90°, pour séparer la glycérine des matières salines, ces dernières n'étant entraînées qu'en très petites quantités par l'action dissolvante de l'alcool.

La solution alcoolique distillée permet de séparer l'alcool et d'obtenir dans l'alambic la glycérine, sous forme de résidu impur de couleur brune.

Un procédé beaucoup plus pratique, selon S. W. Koppe, consiste à neutraliser, tout d'abord, d'une façon parfaite, l'alcalinité de l'eau savonneuse contenant la glycérine.

Cette neutralisation a une influence capitale sur la conduite du travail de séparation des sels et sur la pureté de la glycérine obtenue.

Le produit ainsi traité est disposé dans des cuvettes à fond plat, à grande surface d'évaporation, que l'on chauffe par la vapeur perdue de l'usine.

On chauffe à 109° et on concentre; l'évaporation du liquide a ainsi lieu très rapidement; les matières salines se déposent, et on les enlève au fur et à mesure, avec des rateaux en fer.

Ces matières salines sont jetées dans des paniers, où elles s'égouttent au-dessus des cuvettes, afin de recueillir le liquide retenant de la glycérine.

Le produit liquide continue à être chauffé et, lorsque sa température atteint 100°, on le porte à l'appareil distillatoire, puis l'on chauffe la masse directement par le feu, et graduellement jusqu'à 193°.

Une fois la température de 193° atteinte, on chauffe à cette même température, par un courant de vapeur d'eau surchauffée; et la glycérine distille.

B. — Épuration des eaux savonneuses dans une usine centrale. — Application a l'Espierre

Comme type d'épuration des eaux savonneuses dans une usine centrale, on prendra celle de l'Espierre, parce que, sans conteste, ses eaux savonneuses sont celles qui ont été

soumises aux expériences les plus nombreuses, qu'en outre elles sont souillées, en dehors des matières grasses, par des produits variés, et parce qu'elles se jettent enfin dans un collecteur dont le débit est considérable.

Les eaux des villes de Roubaix et Tourcoing sont envoyées dans ce collecteur, l'Espierre, qui charrie toutes les matières infectes provenant des eaux résiduaires de la région.

Dans l'Espierre viennent se déverser, en grande partie, des eaux de peignage et de lavage de laine et de teinturerie; mais à celles-ci se joignent celles qui sont rejetées par les usines de différentes catégories, enfin les eaux ménagères et de vidange.

C'est donc une accumulation de matières minérales et de produits organiques les plus variés ; les matières grasses y sont en proportion notable et constituent presque le seul produit susceptible d'une extraction ; les autres s'y trouvent en trop petite quantité.

L'Espierre, charriant ainsi toutes ces eaux infectes, suscita de nombreuses plaintes de la part du Gouvernement belge, car les eaux du collecteur, en entrant sur son territoire, venaient souiller celles de l'Escaut.

Cette question souleva une plainte par voie diplomatique en 1861. Un arrêté préfectoral, du 21 octobre 1863, concerne le syndicat des deux villes de Roubaix et de Tourcoing, à l'effet de draguer et de curer l'Espierre, pour empêcher l'entrée en Belgique des matières putrides.

Les résultats obtenus furent loin d'être bons ; de nouvelles plaintes affluèrent; la question fut même portée à différentes reprises à la Chambre des Députés.

Plusieurs Commissions furent nommées, entre autres celles de 1866, 1873, et du 7 juin 1881; une Commission communale fut instituée par arrêté préfectoral.

La nature de l'eau de l'Espierre et des terrains avoisinants a fait conclure ces commissions à l'épuration chimique.

Dans les peignages, l'extraction des matières grasses peut

être rémunératrice, car les eaux de lavage renferment de 9 à 11 kilogrammes de ces matières par mètre cube.

Pour l'Espierre, les eaux ayant des origines diverses, la proportion de matières grasses est sensiblement plus faible.

Des analyses, faites à la Faculté des Sciences de Lille, pendant sept jours consécutifs, au mois de juillet 1881, sur des prises d'essais prélevées dans l'Espierre, à sept heures du matin, ont donné les résultats suivants :

MÉLANGE DES EAUX DE ROUBAIX ET TOURCOING
EAUX DE L'ESPIERRE
Prise à l'écluse du Sartel (barrage n° 7)

MATIÈRES CONTENUES par litre	JOUR 1er	2e	3e	4e	5e	6e	7e	MOYENNE des 7 jours
Graisse	0,81	0,82	1,08	1,05	0,93	1,84	1,05	1,08
Matière organique. . .	0,83	1,52	1,54	0,63	0,81	1,35	1,33	1,14
Sulfate de sodium. . .	0,31	0,13	0,32	0,14	0,30	0,29	0,29	0,25
Chlorure de sodium . .	0,22	0,18	0,26	0,11	0,17	0,20	0,20	0,19
Carbonate de potassium et sodium . . .	0,47	0,49	0,27	0,15	0,43	0,56	0,56	0,42
Carbonate de chaux. .	0,36	0,68	0,96	1,08	0,68	0,68	0,48	0,70
Sable, alumine et fer.	0,45	0,53	0,72	0,74	0,58	0,98	0,59	0,66
Résidu sec. . . .	3,45	4,35	5,15	3,90	3,90	5,90	4,50	4,44

Dans la moyenne des sept jours, les 0,42 de carbonates alcalins se répartissent ainsi : 0,24 de carbonate de sodium et 0,18 de carbonate de potassium. L'azote total a fourni une proportion de 0,098, ainsi réparti :

Azote organique	0,090
Azote ammoniacal.	0,008
Azote nitrique	0,00

D'après le tableau précédent, on voit que la matière grasse, pour une période de sept jours consécutifs, a fourni une moyenne de 1^{kg},80 par mètre cube.

Nous allons décrire l'usine centrale située à Wattrelos Grimonpont, spécialement affectée à l'épuration des eaux de l'Espierre.

Le traitement qui a été suivi dans cette usine était celui à la chaux; mais elle a été établie en vue d'employer tout autre procédé que les expériences pourraient lui faire substituer avantageusement. Nous examinerons ensuite les principaux procédés qui ont fait l'objet d'études spéciales pour l'épuration des eaux de l'Espierre. Cependant nous devons dire qu'après la persévérance de M. Gruson, inspecteur général des Ponts et Chaussées, et l'intérêt que portent au plus haut point les villes de Roubaix et de Tourcoing, cette importante question de l'eau de l'Espierre vient d'aboutir, par l'emploi du nouveau procédé perfectionné de M. G. Delattre à Dorignies.

Usine centrale de Grimonpont pour l'épuration des eaux de l'Espierre. — Cette usine est située à 4 kilomètres de Roubaix et à 2 kilomètres en aval du confluent de l'Espierre et du Truhon; elle couvre, avec ses dépendances, une superficie de $8^{ha},34$ et reçoit la majorité des eaux résiduaires de Roubaix et de Tourcoing.

Le canal de l'Espierre déverse 3.0000 mètres cubes d'eau, en 24 heures, dont 1/3 provient des eaux résiduaires de peignage des laines.

La proportion de matières solides, que l'eau contient, est extrêmement variable et oscille entre 5 à 10 kilogrammes par mètre cube. Selon les considérations que nous avons examinées, le traitement chimique a prévalu à Grimonpont; on y a adopté en premier lieu l'épuration à la chaux; mais, ainsi que nous l'avons dit précédemment, cette usine modèle, due à M. Gruson, inspecteur général des Ponts et Chaussées et à ses collaborateurs MM. Devos, ingénieur, et Weber, conducteur principal, a été construite en vue d'être utilisée pour tout traitement chimique qui remplacerait avantageusement la chaux.

Aussi l'usine de Wattrelos-Grimonpont a-t-elle souvent été mise, aimablement, à la disposition des chimistes, qui ont bien voulu apporter leur concours dans la question de l'épuration des eaux de l'Espierre.

Les eaux sont d'abord décantées dans deux bassins offrant chacun une superficie de 2.500 mètres.

Des barrages, établis sur l'Espierre, permettent à l'eau d'entrer dans l'usine.

Les eaux à épurer arrivent dans un puisard par un déversoir ; là elles sont traitées par un lait de chaux, fabriqué, en général, avec 100 kilogrammes de chaux pour 600 litres d'eau.

Le lait de chaux arrive, tout préparé, dans un système de deux réservoirs superposés ; il est envoyé dans le réservoir inférieur, puis repris par des pompes centrifuges, pour être déversé dans un bac appelé distributeur.

A l'aide d'un dispositif, on règle le réactif pour qu'il s'écoule de ce réservoir distributeur : proportionnellement au volume d'eau à épurer et selon la nature de l'eau ; le lait de chaux est mélangé, de cette façon, à l'eau à épurer contenue dans le puisard.

Des pompes centrifuges, au nombre de quatre, refoulent le mélange des eaux de l'Espierre et de lait de chaux dans une série de 20 bacs de décantation ; l'eau se décante continuellement dans chaque bassin, au moyen de deux vannes-déversoirs, et l'eau clarifiée s'écoule, finalement, et continue son cours.

Quant aux boues, elles sont enlevées au moyen d'un appareil dragueur, puis déposées sur les terrains de l'usine, qui leur enlèvent une grande partie de leur eau.

Enfin on a prévu le cas où l'emploi du réactif, autre que la chaux, fournirait des boues liquides ; à cet effet, des vannes sont disposées, pour leur évacuation, au fond et dans l'axe de chaque bassin.

En brûlant les boues sèches dans des fours spéciaux, on peut arriver à régénérer la chaux ; mais elle est associée à des impuretés provenant des matières précipitées.

Procédé à la chaux. — Le procédé d'épuration à la chaux a été préconisé par l'ingénieur Clark, puis par MM. Hofmann et White ; il ne fournit cependant que des résultats fort imparfaits.

Les matières en suspension et les matières grasses sont assez bien précipitées ; mais la chaux n'élimine pas les matières organiques en solution, qui sont le siège de la putréfaction.

D'après l'enquête des commissaires royaux : MM. W.-Th. Denison, E. Frankland, et J. Chalmers Morton, dans le bassin de la Mersey à la Rible, à Leicester et à Blackburn, les eaux, qui avaient été soumises au traitement de la chaux, étaient noirâtres et infectes, et des matières putrides flottaient à la surface.

Avec l'eau de l'Espierre, on emploie environ 3 kilogrammes de chaux par mètre cube, c'est-à-dire qu'on dépense pour 3 centimes de réactif.

L'épuration des eaux de l'Espierre par la chaux est aussi imparfaite ; l'eau est alcaline; elle favorise la caustification des matières organiques et l'entrée de ces matières en solution.

Cette chaux se carbonate à l'air, et l'eau épurée devient le siège d'une putréfaction plus active encore.

L'épuration à la chaux des eaux de l'Espierre, en employant 2 kilogrammes de chaux par mètre cube, a fourni en milligrammes les résultats analytiques suivants sur 1 litre d'eau épurée :

Résidu	1350 milligr.
Couleur du résidu	Jaune vert.
Résidu calciné	920 milligr.
Perte au rouge	430
Azote ammoniacal	25 —
Azote albuminoïde	12,24 —
Alcalinité (CaO)	84 —
Acide sulfurique	237 —
Chlorure de sodium	187 —
Chaux totale	129 —
Oxyde de fer	40 —
Dépôt hydrotimétrique	26 —
— — après l'ébullition	18 —
Aspect	Jaune très louche.

Le traitement à la chaux se fait difficilement; la clarification est lente; les boues sont abondantes ; et, peu de temps après, elles sont l'objet d'une fermentation putride, qui devient de plus en plus active, au fur et à mesure que la température s'élève.

L'abondance des boues est un grand inconvénient dans ce mode de traitement, et ces boues atteignent 7.000 mètres cubes environ par jour pour la totalité des eaux de l'Espierre, d'où il résulte un encombrement de boues trop liquides pour les passer au filtre-presse et fournir un produit aggloméré.

Il est donc bon de n'employer la chaux que concurremment avec d'autres réactifs.

Procédé aux acides. — Examinons l'application d'un procédé d'épuration à l'eau de l'Espierre, établi sur des bases semblables à celles de l'usine particulière de peignage de laines de MM. Holden.

A un point du collecteur, on verse de l'acide chlorhydrique; les acides gras sont mis en liberté; un magma graisseux se forme à la surface; il est recueilli, pressé à chaud, et il donne une graisse et des tourteaux comme résidus, qui, malheureusement, n'ont pas toujours grande valeur.

L'extraction de la graisse, par ce moyen, est fort incomplète; on obtient un rendement de 60 0/0 environ; en faisant un traitement par le sulfure de carbone, le rendement serait bien supérieur; mais ce mode opératoire nécessite beaucoup de précautions et une installation spéciale ; cependant, ces dernières années, on est arrivé à construire des appareils, tout à fait pratiques pour l'épuisement des corps gras par la gazoline.

Calculons le prix de revient sur l'eau de l'Espierre, contenant $1^{kg},08$ de matière grasse par mètre cube, qui est la moyenne fournie par l'analyse de l'eau, pendant sept jours consécutifs.

Pour traiter $1^{kg},08$ de matière grasse contenue dans 1 mètre cube d'eau de l'Espierre, nous estimons qu'il

faut $0^{kg},300$ d'acide chlorhydrique du commerce à 22° B.

En admettant que si cet acide coûte 4 francs les 100 kilogrammes, et donne un rendement de 60 0/0 de matière grasse, il faudra donc dépenser 0 fr. 12 d'acide chlorhydrique pour obtenir $0^{kg},648$ de graisse par mètre cube.

Cette graisse étant estimée à 25 francs les 100 kilogrammes, son produit, de $0^{kg},648$, est alors évalué à 0 fr. 16.

Il faut ajouter le coût de la neutralisation par la chaux, qui peut être estimé à 0 fr. 02 par mètre cube d'eau.

En résumé, on obtient $0^{kg},648$ de graisse, ou un rapport de 0 fr. 16, avec une dépense de réactif de 0 fr. 12 + 0 fr. 02 = 0 fr. 14.

Il ne reste qu'un écart de 2 centimes pour couvrir les frais d'installation, d'entretien, de main-d'œuvre, de chauffage, etc., qui sont tout à fait insuffisants, et ce mode de traitement entraîne un surcroît de dépense.

L'acide chlorhydrique, devenant de jour en jour un produit de première nécessité industrielle, et par suite de plus en plus coûteux, son application dans ce cas, étant donnés les modes actuels de traitements, sera de moins en moins pratique.

L'acide sulfurique, qui tend de plus en plus à diminuer, peut suppléer l'acide chlorhydrique.

Procédé P. Gaillet. — On peut appliquer ce procédé à l'épuration de l'eau de l'Espierre dans un bassin situé sur son collecteur, où l'eau s'écoule dans une citerne, munie d'agitateurs mécaniques, dans laquelle on verse du lait de chaux continuellement.

Le liquide s'écoulerait dans un bassin où une première décantation aurait lieu et les liquides boueux seraient épuisés, au fond, et refoulés dans quatre réservoirs ayant 10 mètres de diamètre sur 10 mètres de haut.

La boue essorée serait pressée dans des presses spéciales dans le but de fournir des tourteaux.

Ce procédé permet d'éliminer les matières grasses, les

sulfures solubles et les trois quarts des matières organiques, et le résultat final du traitement fournit du chlorure de calcium.

Dans son procédé, M. Gaillet préconise le perchlorure de fer, par l'action de l'acide chlorhydrique sur le peroxyde de fer, provenant des pyrites qui, à froid, donnent un perchlorure de fer acide à 30° B. convenant très bien aux eaux renfermant des matières grasses et, à chaud, un perchlorure saturé à 35 ou 40° B.

On obtient, de cette façon, en employant de l'acide chlorhydrique à 4 francs les 100 kilogrammes, du perchlorure de fer titrant 40° B., et revenant, tous frais compris, à 4 fr. 60 les 100 kilogrammes.

Le coût de l'épuration de l'eau de l'Espierre, en réactifs, est estimé à :

200 centimètres cubes de perchlorure de fer à 40°. .	0,0126
3 kilogrammes de chaux.	0,0300
	0,0426

Si l'on tient compte de l'installation que nécessite l'emploi du procédé, l'amortissement, l'intérêt du capital, les frais d'entretien, de main-d'œuvre, de chauffage, de réactifs, etc., on doit compter sur une dépense de 0 fr. 072 par mètre cube d'eau de l'Espierre à épurer.

Procédé Legrand. — Le chlorure ferreux est le réactif de ce procédé; il n'y a aucun avantage à l'employer, comparativement au chlorure ferrique.

Ce chlorure ferreux est un corps coûteux, car il nécessite, pour sa préparation, du fer pur non oxydé; de plus, ne le trouvant que difficilement dans le commerce, on est obligé de le préparer soi-même.

Quant à son action sur l'eau à épurer, elle est moins énergique qu'avec son sel au maximum, préconisé par M. le Dr Kœne, P. Gaillet et Gunning.

Procédé au chlorure de manganèse. — Comme le chlorure ferrique, le chlorure de manganèse peut être employé dans le traitement de l'eau de l'Espierre, avec de la chaux pour saturer l'acidité.

Ce traitement a fourni à M. Gaillet l'élimination de la majeure partie des matières organiques.

Le chlorure de manganèse employé est le produit résiduaire de la fabrication du chlore ; mais le procédé de régénération de Velden fait que ce chlorure est de plus en plus difficile à se procurer.

Procédé Howatson. — Comme dans le paragraphe précédent, le procédé Howatson, appliqué aux eaux de l'Espierre, repose sur l'emploi des deux produits dénommés ferozone et polarite, dont nous avons donné les résultats de plusieurs analyses.

Tout d'abord on fait subir aux eaux à épurer un premier traitement à la chaux, en vue de faciliter le travail postérieur par une précipitation notable des corps qui sont dans l'eau.

Ensuite l'eau résiduaire est mélangée au fur et à mesure avec le ferozone composé en grande partie de sulfate ferreux, de sulfate ferrique et de sulfate d'alumine.

Ce réactif est préparé chaque jour dans un bac spécial ; il s'écoule de ce bac par un robinet réglé, suivant la nature et la proportion d'eau à épurer, et se mélange avec cette dernière dans un bac décanteur.

Après décantation, l'eau passe dans un filtre dégrossisseur, où elle abandonne toutes les matières en suspension.

Enfin l'eau termine son épuration dans un filtre à polarite, matière composée de corps oxydants, oxydes : de fer magnétique, de calcium, de magnésium, de silicium, d'aluminium, qui produit l'oxydation des matières organiques.

Suivant une étude de M. A. Langumier, les expériences faites avec l'eau de l'Espierre ont donné les résultats suivants.

en employant le procédé de traitement Howatson :

OBSERVATIONS	EAU DE L'ESPIERRE		
	BRUTE	ÉPURÉE	ÉLIMINATION totale °/.
Résidu à 110°	4,840	1,760	63,6
Couleur du résidu	noir	blanc	»
Perte au rouge	3,180	5,70	82,1
Oxygène brûlé (solution acide)	1,360	1,69	87,6
Azote ammoniacal en AzH^3	23,38	10.40	55,5
Azote albuminoïde en AzH^3	35,36	2,50	93,2
Matières réductrices en $C^{12}H^{12}O^{12}$	»	»	»
Acidité exprimée en CaO	»	»	»
Alcalinité exprimée en CaO	251	45	82,2
Chaux totale en CaO	352	95	73,0
Acide sulfurique en So^3	72	338	»
Oxyde de fer et alumine	300	20	93,3
Chlorure de sodium	187	64	12,3
Degré hydrotimétrique	75	41	»
— — après ébullition	75	33	»
Aspect de l'eau	Boue noirâtre	Limpide, incolore	»

Quant aux résidus, on les recueille dans le bac à décantation, et les filtres sont nettoyés facilement par un courant d'eau.

Procédé Houzeau. — En prenant des liquides provenant du lavage des lignites, M. Houzeau obtenait un produit renfermant un mélange de sulfate ferreux, de sulfate ferrique et de sulfate d'alumine.

Après avoir soumis l'eau de l'Espierre à ce réactif, qui agit avec énergie, on la traitait par la chaux.

On a cherché à remédier à l'inconvénient de ce procédé par lequel on obtient du sulfate de calcium, qui, sous l'influence d'un milieu réducteur, comme les matières organiques, forme de l'hydrogène sulfuré.

Pour cela, le réactif a été traité en vue d'obtenir une transformation de ses sulfates en chlorures.

D'après l'analyse de ce produit, sa composition par litre est de :

	grammes
Sulfate d'alumine	199,50
— ferrique.	10
Acide sulfurique libre.	4
Chlorure ferrique	156
— ferreux.	75
Matières argileuses insolubles. . .	22,60
Eau	756
	1.223,50

Ce produit renfermant encore une notable proportion d'acide sulfurique, l'inconvénient persiste donc.

Néanmoins il fallait employer 9 à 10 kilogrammes de ce réactif pour épurer 1 mètre cube d'eau de l'Espierre.

Le coût de ce réactif étant estimé à 1 franc les 100 kilogrammes, on dépenserait donc par mètre cube de $0^{kg},09$ à $0^{kg},10$ de ce produit, sans compter les autres frais : chaux, main-d'œuvre, etc., etc.

Procédé par le sulfate ferreux. — L'épuration par le sulfate ferreux, combinée avec la chaux, qui a été très préconisée, fournit d'assez bons résultats; les matières organiques sont en grande partie éliminées, et les sulfures solubles sont fixés, par le fer, à l'état de sulfure de fer insoluble.

Non seulement du sulfate de calcium sera en solution dans l'eau, mais encore, la précipitation du sulfate ferreux, par la chaux, étant incomplète, on aura des sels de fer en solution, qui pourront présenter des inconvénients.

Il est vrai que l'on peut dire que les sels de fer en solution serviront à saturer les sulfures solubles, pour précipiter du sulfure de fer insoluble; mais il est rare que l'un de ces corps ne soit pas en excès sur l'autre, et l'inconvénient afférent au corps en excès persiste.

Procédé Boblique. — Le procédé Boblique consistait, primitivement, en l'emploi de magnésie pour obtenir, avec le phosphate et l'ammoniaque contenus dans l'eau, une combinaison des plus recherchées en agriculture : le phosphate ammoniaco - magnésien , principe préconisé par Schlœsing.

S'appuyant sur les mêmes bases, M. Boblique fit des expériences avec du phosphate de soude ferrugineux, obtenu par son procédé spécial, consistant à faire subir la fusion à des nodules des Ardennes avec du fer.

On obtient ainsi du phosphate de fer, qu'on chauffe au rouge vif avec du sulfate de soude et du charbon.

La masse refroidie, laissée quelques jours à l'air et lessivée par l'eau, fournit de beaux cristaux de phosphate de soude.

Depuis, M. Boblique a obtenu le phosphate de soude d'une façon très économique encore par l'action de la soude sur la redondite, ce qui lui permet d'avoir en même temps de l'alumine, produit résiduaire de la fabrication rémunérateur.

Ces dernières années, M. Boblique a poursuivi des recherches sur les eaux de l'Espierre; mais il tient à ne pas les divulguer.

Procédé A. et P. Buisine. — Appliqué à l'Espierre, ce procédé repose sur l'action du sulfate ferrique.

Des expériences furent faites à Grimonpont, où le traitement eut lieu sur un débit journalier de 20.000 mètres cubes d'eau, pendant cinq semaines.

Par les différents sels alcalins et alcalino-terreux, qui se trouvent toujours dans les eaux souillées, le sulfate ferrique introduit se décompose en peroxyde de fer, qui précipite, en entraînant avec lui toutes les matières en suspension, les matières grasses, les matières albuminoïdes, les matières colorantes et les sulfures solubles, qui sont fixés par le fer et transformés en sulfure de fer insoluble.

Dans cette précipitation, la majeure partie des matières organiques en solution est entraînée, ainsi qu'une grande partie de microbes.

Nous avons, du reste, donné dans le paragraphe précédent, à propos de ce procédé, quelques chiffres à l'appui.

Des expériences comparatives, avec le procédé à la chaux, faites sur l'eau de l'Espierre, ont fourni les résultats suivants :

MATIÈRES	EAU DE L'ESPIERRE					
		ÉPURÉE			ÉPURÉE	
	BRUTE	avec 4k chaux éteinte par mètre cube	avec 1k sulfate ferrique par mètre cube	BRUTE	avec 1k500 chaux éteinte par mètre cube	avec 0k400 sulfate ferrique par mètre cube
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Résidu sec par litre	5,75	3,90	2,10	3,20	1,65	1,06
Résidu minéral	1,95	2,90	1,80	0,72	0,99	0,91
Matière grasse	2,08	0	»	1,10	0	0
Matières organiques en solution évaluées en acide oxalique	1,35	1,20	0,22	»	0,86	0,12
Alcalinité en CaO	»	0,80	neutre	»	0,26	neutre
Poids du précipité sec obtenu par l'épuration par litre	»	0,96	4,29	»	3,03	1,90

L'eau sort claire, incolore et sans odeur neutre, ou légèrement acide.

Les boues provenant du traitement par le sulfate ferrique, recueillies, après dessiccation sur le sol, présentaient la composition suivante :

Eau	20,90
Résidu minéral (sable, oxyde, peroxyde de fer)	30,63
Matières grasses	30
Matières organiques azotées	18
	100,00

Les matières grasses sont enlevées par le sulfure de carbone; elles sont composées des corps gras, du savon, des

laines et des graisses ménagères; après ce traitement, il reste une poudrette qui titre 3 0/0 d'azote.

On peut distiller les matières grasses par la vapeur d'eau surchauffée; on obtient des produits qui peuvent trouver leur emploi en savonnerie, en stéarinerie et comme huile de graissage.

Pour traiter les eaux de l'Espierre, il faut employer une moyenne de 1 kilogramme de sulfate ferrique par mètre cube.

Ce réactif se prépare avec les pyrites grillées, résidus industriels qui se trouvent en abondance; on les arrose avec de l'acide sulfurique à 66° B.

Après avoir fait une bouillie épaisse, le tout est chauffé plusieurs heures vers 100 à 150°; de façon à obtenir une masse sèche et pulvérulente, qui, reprise par l'eau, fournit la liqueur de sulfate ferrique.

Solution de la question de l'épuration de l'Espierre. — Application du procédé Delattre. — Le problème international de l'épuration des eaux de l'Espierre, qui est d'un grand intérêt pour les Gouvernements français et belge et les villes de Roubaix et de Tourcoing, finissait par être considéré comme une question irrésoluble.

C'est au bout de nombreuses années, à la suite d'une longue série d'essais, que le problème reçoit une solution, grâce à la persévérance des villes intéressées de Roubaix et de Tourcoing, qui résolurent de prendre une décision, en adoptant le procédé de M. J. Delattre, à la suite des résultats les plus concluants que ce procédé a fournis.

Il est intervenu en 1899 une convention entre les villes de Roubaix et Tourcoing et M. J. Delattre, par laquelle M. J. Delattre épurera 100.000 mètres cubes d'eaux par jour, et sa fabrique de Grimonpont recevra une installation pour obtenir ce résultat.

Les deux villes de Roubaix et de Tourcoing interviendront

dans les dépenses pour 270.000 francs, et il sera alloué un subside annuel de 365.000 francs pour l'entretien.

Ce subside cessera d'être alloué à partir du moment où il sera constaté qu'en traitant les eaux résiduaires, en vue de fabriquer le vitriol, il sera obtenu un bénéfice suffisamment rémunérateur.

Nous avons décrit précédemment d'une façon complète, dans le paragraphe relatif à l'épuration des eaux savonneuses, à l'usine génératrice, le procédé d'épuration des eaux de peignage des laines par l'acide sulfurique à l'usine de MM. Delattre père et fils à Dorignies-lès-Douai.

C'est ce procédé que M. J. Delattre a appliqué en grand à l'épuration des eaux de l'Espierre, en lui faisant subir de légères modifications.

Ainsi, pour la récupération des graisses, on procédera, à l'usine de Grimonpont, en une seule opération au lieu de deux.

Les deux opérations, pression et extraction, seront remplacées avantageusement par un seul traitement ayant pour but d'extraire les graisses par simple épuisement au moyen de la benzine, en procédant sur les boues liquides et en récupérant naturellement la benzine employée.

Les graisses suintines, les tourteaux et le vitriol forment trois produits résiduaires importants des plus rémunérateurs.

Ainsi donc se termine le problème de l'épuration des eaux de l'Espierre, question franco-belge, portée devant les Chambres, et qui, en dehors du résultat technique de la plus grande importance, intéresse à un si haut point la santé et l'hygiène publiques.

C. — De l'utilisation des résidus d'épuration des eaux savonneuses et extraction des matières grasses

Les matières grasses, extraites des eaux savonneuses résiduaires, peuvent être utilisées en stéarinerie, savonnerie et dans la fabrication des huiles de graissage.

A Saint-Denis, l'usine de M. Souffrice traite avantageusement les corps gras extraits des eaux résiduaires et des écumes de la Seine.

En savonnerie, les matières grasses, provenant des eaux résiduaires de peignage de laine ou de l'Espierre sont difficiles à employer, à cause de la présence de l'acide cérotique.

Néanmoins on les utilise très bien, après purification, dans la fabrication du savon, et leur emploi est facilité, lorsqu'on les mélange, à des corps gras neufs, dans la fabrication.

En mélangeant la suintine avec du suif et de la résine, on obtient du savon de bronze.

A l'usine Holden, on isole l'acide cérotique des autres acides gras, et on saponifie les acides oléique et stéarique à l'autoclave.

D'après un procédé de M. Rohard, il résulterait de ses expériences que la graisse de suint fondue retiendrait jusqu'à 100 fois son volume d'hydrogène sulfuré. Cette graisse subirait une modification dans sa constitution et, de plus, le carbonate de sodium serait décomposé instantanément, ce qui permettrait d'obtenir une saponification, en moins d'une demi-heure, avec une solution froide de carbonate de sodium.

En dehors des matières grasses extraites, les résidus, sous forme de tourteaux, peuvent être employés, selon leur richesse en matières azotées, pour l'agriculture.

L'extraction des corps gras, qui se fait par le sulfure de carbone, peut s'effectuer avantageusement avec la gazoline.

En opérant dans des appareils à épuisement, Donard et Boulet, on arrive à ce résultat, sans danger, en effectuant la distillation, de l'essence, par la vapeur d'eau, en vase clos, puis condensation de la gazoline, qui, après épuisement de la graisse, se trouve régénérée et peut resservir sans perte appréciable à une nouvelle opération.

Cet appareil jumeau à déplacement pour l'extraction des matières grasses (*fig.* 123) se compose de deux chaudières

A et A′ et de deux appareils à déplacement proprement dits B et B′ ou extracteurs.

Deux grosses tuyauteries doubles E et E′ relient chaque extracteur avec la chaudière située au dessous.

On charge les extracteurs B et B′ avec la matière à épuiser; la chaudière A contient de l'essence, de l'eau et de l'huile, cette dernière provenant d'une opération faite précédemment.

On ouvre les robinets FHJ, et, après avoir fermé les robinets F′H′J′, on ouvre le robinet de vapeur S; l'essence distille et monte dans le tuyau E, puis, en ouvrant le robinet U, l'eau froide circule dans le serpentin plat T, et l'essence se condense.

Les robinets FHJ étant ouverts et les robinets F′H′J′ étant fermés, on envoie de la vapeur par le robinet S′; l'essence distille, monte dans la colonne et se condense sur le serpentin T, dans lequel on envoie de l'eau froide au moyen du robinet U.

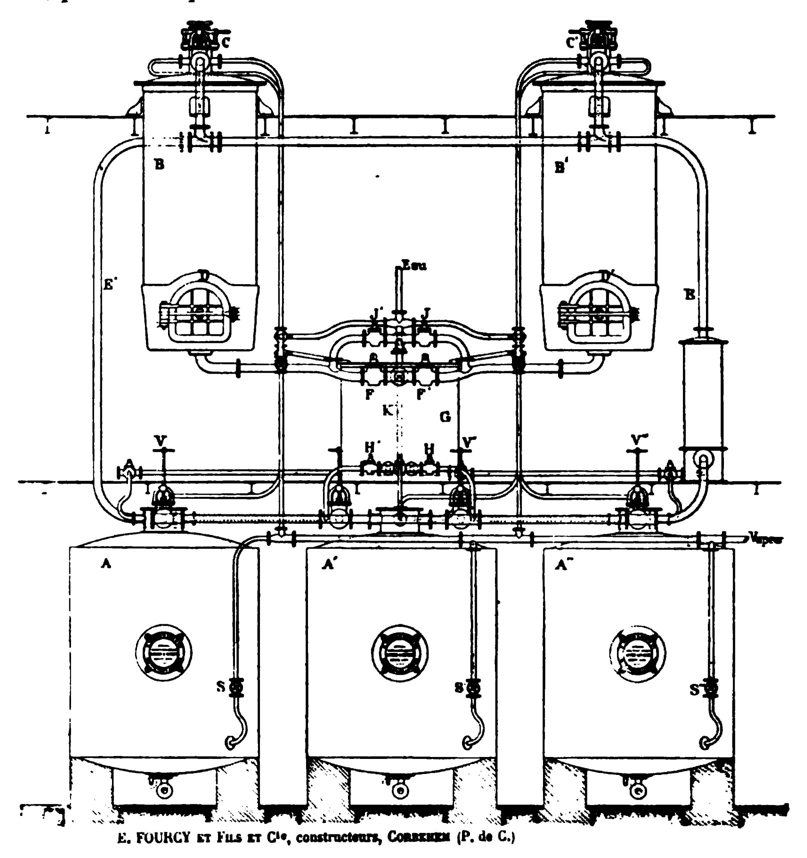
Cette essence condensée tombe, sous forme de pluie chaude sur la matière, provoque l'extraction des matières grasses qui sont entraînées avec l'essence, après refroidissement dans le serpentin G, dans la chaudière A, et on récupère l'essence qui imprègne la matière placée dans l'extracteur B, en envoyant de la vapeur par le robinet V dans le serpentin T.

On vidange la chaudière B et l'extracteur A, où se trouve la matière épuisée qui est généralement utilisée comme engrais; ensuite on opère comme précédemment avec A′ et B′ sur la matière à épuiser qui se trouve dans l'extracteur B′.

La récupération de la benzine ne donne lieu qu'à une faible perte évaluée à 0,25 0/0 par 100 kilogrammes de matière traitée.

Un pefectionnement récent a été apporté par MM. Donard et Boulet à leur appareil jumeau à déplacement, en se servant de trois chaudières A, A′ et A″ (*fig.* 122), qui permet, en faisant passer le produit de l'épuisement dans la chaudière

intermédiaire A' et en opérant, avec l'aide de celle-ci, d'obtenir l'épuisement des matières grasses d'une façon continue et, par conséquent, de doubler le travail.



APPAREIL JUMEAU A DÉPLACEMENT
pour l'Extraction de l'Huile des Drêches de Distilleries
(Système DONARD et BOULET, breveté S. G. D. G.)

FIG. 122. — Epuisement des matières grasses des produits résiduaires.

On peut donc, par suite, diminuer la capacité des appareils.

Dans le procédé d'épuration à la chaux, les boues calcinées permettent de régénérer la chaux et de pouvoir l'employer à nouveau comme réactif.

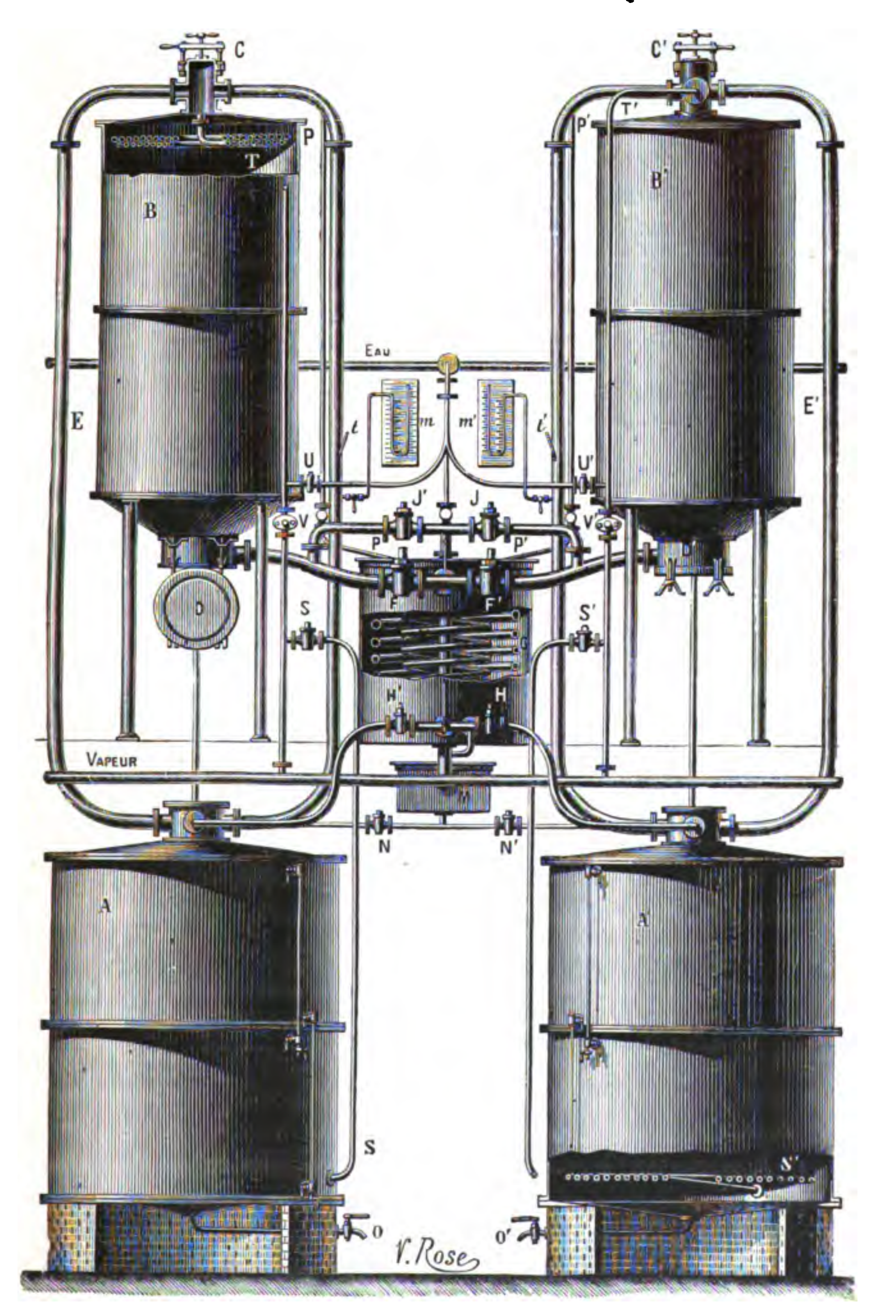


Fig. 123. — Appareil jumeau, système Donard et Boulet pour l'extraction des matières grasses des produits résiduaires.

Par la calcination des boues provenant des traitements divers, on peut obtenir du gaz d'éclairage, ayant un pouvoir éclairant supérieur à celui du gaz d'éclairage de Paris.

Au Laboratoire de Clichy, M. Durand-Claye constata le pouvoir éclairant du gaz extrait des eaux d'égout stagnantes du collecteur de Clichy.

Suivant ses analyses, la composition du gaz obtenu était :

Hydrogène protocarboné	72,88
Acide carbonique	13,30
Oxyde de carbone	2,54
Hydrogène sulfuré	6,70
Azote et divers	4,58
	100,00

Ce gaz avait pour densité 0,92; il était très éclairant; du reste, par sa composition, on constate qu'il est semblable à celui du gaz d'éclairage de houille.

On voit tout le parti qu'on peut retirer des boues provenant des eaux résiduaires, comme gaz d'éclairage, en particulier, avec les eaux de l'Espierre et celles du peignage des laines.

Des expériences ont été faites, à Tourcoing, à l'usine à gaz, par M. Barrois, son directeur, sur des boues chaulées provenant de l'Espierre.

D'après les analyses de M. Garreau, professeur à l'Université de Lille, ces boues renfermaient :

Matières organiques précipitées par le repos	12,81
— — — chimiquement	16,27
Matières minérales précipitables	23,46
Boues desséchées par l'évaporation	47,46
	100,00

et une proportion de 0,50 0/0 d'azote.

Les matières minérales, qui étaient contenues dans ces boues, étaient de l'oxyde de fer, du sable siliceux, du carbonate de chaux et de l'alumine.

Une tonne de cette boue sèche a donné 200 mètres cubes de gaz, ayant un pouvoir éclairant de 1,36, si on le compare

au gaz d'éclairage de Paris, en lui attribuant 1 comme pouvoir éclairant.

En dehors du gaz d'éclairage, on obtient par la distillation des produits ammoniacaux et du goudron.

Enfin, dans les cornues, on a une poudrette légèrement phosphatée, qui peut servir à l'amendement et peut être vendue 0 fr. 02 le kilogramme.

Cette poudrette renferme des phosphates, de la potasse, un peu de carbonate, de la soude et de la chaux.

Après l'extraction des diverses matières utilisables : corps gras et autres, les résidus, employés généralement comme engrais, sont séchés dans des fours ordinaires, dans des fours genre Porion, ou mieux encore dans un appareil rotatoire à dessécher les matières solides dans le vide, comme celui de MM. Donard et Boulet, qui permet d'opérer rapidement et économiquement.

Cet appareil se compose d'un cylindre horizontal A, reposant sur deux paliers GG′ par des tourillons creux donnant accès par le presse-étoupe DD′, à la vapeur de chauffe et à son évacuation, après travail.

La vapeur de chauffe est envoyée dans une chambre circulaire verticale H formée par la paroi gauche du cylindre et muni de dentures E pour la rotation.

Une série de tubes horizontaux BB′, sertis sur cette paroi, fermés à l'autre extrémité, procurent une grande surface de chauffe évaluée à 50 mètres carrés environ. A l'autre extrémité du cylinde A, un tuyau fait communiquer le tourillon creux à une pompe à vide, à condenseur et à double effet.

La vapeur provenant des matières traitées sort par le presse-étoupe D″; et les matières sont chargées par les trous d'homme CC′.

Au cours de la Ve partie de cet ouvrage, relative aux eaux résiduaires, nous avons eu l'occasion d'examiner l'utilisation de certains produits résiduaires et, en particulier, les résidus des eaux de désuintage.

Par le procédé Maumené et Rogelet, nous avons vu que,

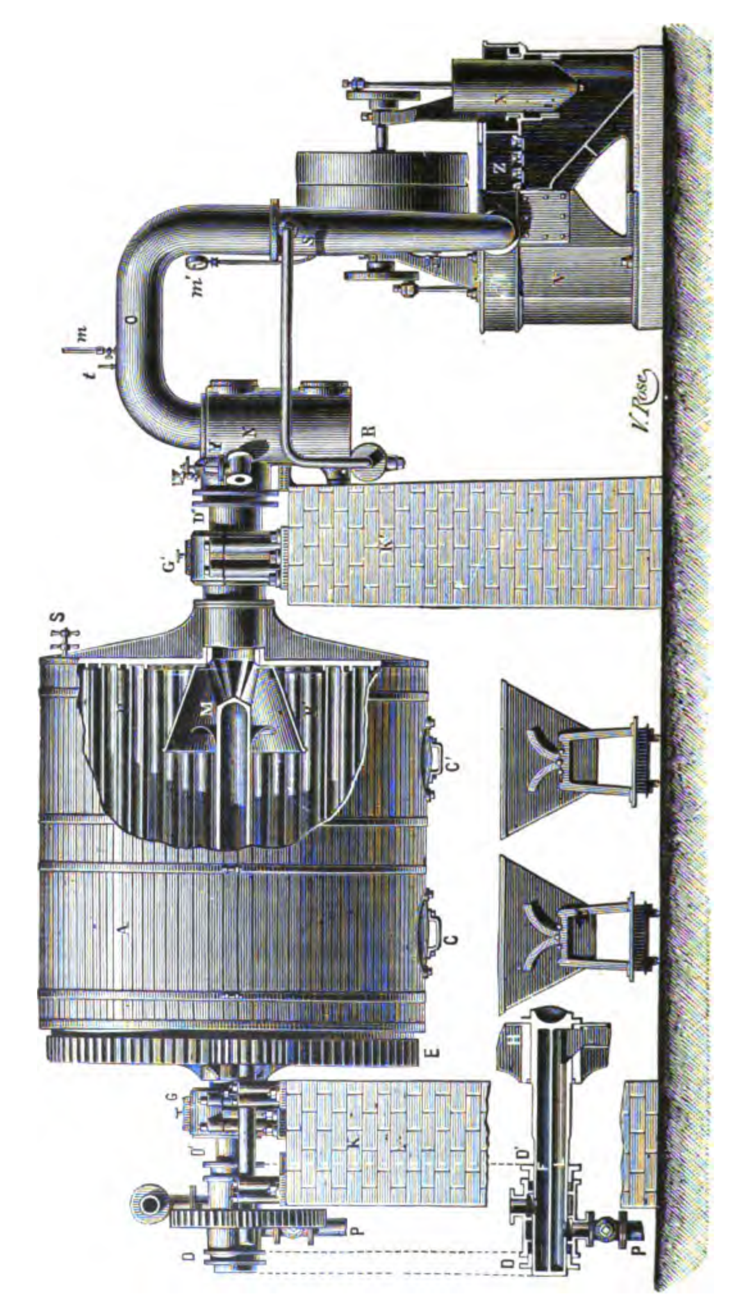


Fig. 124. — Appareil rotatoire Donard et Boulet à dessécher les matières solides dans le vide

par calcination de ces résidus, on obtenait 70 à 80 0/0 de carbonate pur et du gaz d'éclairage doué d'un grand pouvoir éclairant.

L'emploi de l'huile d'acétone en Suisse pour la dénaturation de l'alcool a suggéré à MM. A et P. Buisine l'idée de fabriquer ce produit d'une façon industrielle, ce qui permettra sans doute d'étendre le domaine de ses applications.

L'huile d'acétone est un mélange d'acétone ordinaire, de méthylacétone, de méthylpropylcétone et d'autres cétones supérieures.

Pour obtenir cette huile d'acétone, on traite les eaux de lavage de laine en suint, en les laissant fermenter quelques jours dans des citernes.

Il se forme alors du carbonate d'ammoniaque et des acides gras volatils, tels que des acides acétique, propionique, butyrique, etc.

On chasse ensuite l'ammoniaque, en faisant bouillir le liquide, puis, après l'avoir acidulé par de l'acide sulfurique, on le chauffe dans un courant de vapeur d'eau, afin d'obtenir les acides volatils.

Ces acides sont saturés par la chaux et, après évaporation, on les distille à sec.

Le produit de la distillation permet, après plusieurs rectifications, d'obtenir 60 0/0 de méthylacétone, bouillant à 81°.

Un litre du liquide fermenté procure 20 grammes d'acides volatils.

Un mètre cube d'eau de désuintage, à 11° B., fournit 15 litres d'huile d'acétone.

De plus on peut obtenir, en traitant les résidus de la distillation, le carbonate de potasse, sans aucune difficulté.

CINQUIÈME PARTIE

ANALYSE

La détermination des substances contenues dans l'eau fournit des indications précieuses sur les inconvénients qui peuvent résulter de leur application industrielle et sur les remèdes qui sont capables d'agir efficacement.

L'examen qualitatif de l'eau doit donc porter sur les différentes substances qu'elle est susceptible de contenir ; mais on doit s'arrêter d'une façon particulière sur la détermination des corps que l'on sait excercer une influence néfaste ou bienfaisante dans l'industrie où l'eau examinée doit être employée.

Il importe aussi d'apprécier la valeur des quantités de certains corps dans l'eau, qui peuvent être nuisibles ou favorables, suivant que leur proportion est comprise entre telle ou telle limite.

Cette appréciation peut se faire par la méthode hydrotimétrique, méthode facile à exécuter dans l'industrie par la simplicité des opérations et du peu de matériel qu'elle comporte.

La méthode hydrotimétrique s'applique particulièrement à la détermination de certains sels, comme les sels alcalino-terreux ; aussi, pour compléter les renseignements que l'industriel cherche à recueillir sur ses eaux, décrirons-nous dans un troisième chapitre des méthodes d'analyses qui lui

permettront d'évaluer la proportion des principaux corps contenus dans l'eau.

De plus, on coordonne quelquefois, dans une analyse

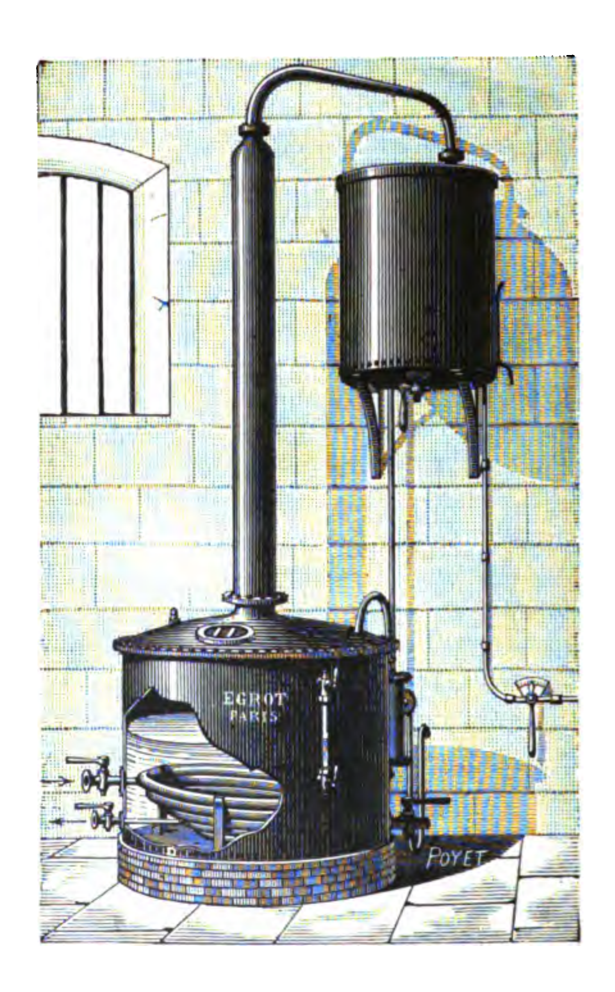


FIG. 125. — Appareil à distiller l'eau, système Egrot, à alimentation constante et automatique, chauffé par la vapeur.

d'eau, les résultats fournis par la méthode hydrotimétrique avec ceux obtenus par des méthodes qui seront décrites et spéciales à chaque corps qu'on veut déterminer.

De la pureté de l'eau en analyse. — Il importe, lorsqu'on procède à une analyse quelconque, de faire usage d'eau chimiquement pure.

On conçoit que les réactifs qui auraient été préparés avec une eau qui ne serait pas rigoureusement pure, feraient découvrir, dans les recherches qualitatives de l'eau soumise à l'analyse, les impuretés de l'eau utilisée dans la préparation des réactifs.

De même les résultats quantitatifs analytiques seraient faussés et, dans l'analyse hydrotimétrique, le degré de l'eau serait plus fort.

Nous avons examiné dans le paragraphe spécial à l'eau distillée les précautions à prendre pour obtenir de l'eau pure par distillation devant un alambic.

L'appareil à distiller l'eau, système Egrot peut être aussi utilisé dans les laboratoires en dehors de ses applications dans la préparation des glaces ou miroirs, et dans les distilleries où la pureté de l'eau joue un grand rôle pour les coupages d'alcool.

Cet appareil est formé d'une chaudière en cuivre étamé à l'étain fin, qui contient l'eau à distiller.

Un serpentin chauffé par la vapeur transforme l'eau en vapeur qui monte dans une colonne épuratrice ayant pour but de la purifier en empêchant l'entraînement de l'eau non vaporisée, qui retombe dans la chaudière.

Cet appareil, qui produit de 25 à 1.000 litres d'eau distillée à l'heure, fonctionne automatiquement ; le niveau de l'eau dans la chaudière reste constant, et l'alimentation est faite avec l'eau chaude provenant du réfrigérant.

CHAPITRE I

QUALIFICATION DES CORPS EN SOLUTION DANS L'EAU

Parmi les substances qu'on est susceptible de rencontrer le plus souvent dans les eaux, on doit citer :

Les acides sulfurique, carbonique, chlorhydrique, sulfhydrique, silicique, azotique et azoteux ;

Les bases : potasse, soude, chaux, magnésie, ammoniaque;

Les matières organiques et les matières diverses en suspension.

Généralement les acides sont combinés aux bases pour former des sels qui se trouvent le plus souvent en solution dans l'eau.

En dehors des corps énumérés : le fer et le zinc, puis un groupe de métaux toxiques : cuivre, plomb, arsenic, se rencontrent parfois dans les eaux.

Ce groupe de métaux toxiques rend les eaux impropres à certaines industries, en particulier à celle des boissons, comme : la bière, le cidre, les boissons gazeuses et la glace.

Toutes ces substances, contenues dans l'eau, doivent, suivant le cas, faire l'objet de la recherche qualitative.

§ 1. — RECHERCHE QUALITATIVE DES ACIDES

Sulfates. — Pour reconnaître la présence des sulfates dans l'eau, on introduit une petite quantité d'eau dans un tube à essai, puis on l'acidule par quelques gouttes d'acide chlorhydrique.

Ensuite on verse une solution de chlorure de baryum; si la liqueur se trouble et forme un précipité blanc, c'est que l'eau contient des sulfates en solution.

Plus le précipité blanc, qui n'est autre chose que du sulfate de baryum, formé d'après la réaction :

$$BaCl^2 + So^4H^2 = So^4Ba + 2HCl,$$

est abondant, plus l'eau contient de sulfate, ce qui permet, au premier abord, de se faire une idée approximative sur la quantité qu'elle renferme.

Ce sulfate de baryum est un corps insoluble dans les acides ; par conséquent, en ajoutant un excès d'acide chlorhydrique, la réaction doit persister, c'est-à-dire que le précipité ne doit pas disparaître, lorsqu'on est bien en présence de sulfate de baryum.

Carbonate et acide carbonique. — Si une eau renferme des bicarbonates ou de l'acide carbonique libre, en ajoutant, à un prélèvement d'eau à essayer, du réactif : eau de chaux, il se forme un précipité blanc.

Ce précipité blanc, ou carbonate de calcium, est donné par la réaction suivante :

$$Co^2 + Ca(OH)^2 = Co^3Ca + H^2O.$$

En ajoutant un excès d'acide carbonique, ou en versant par exemple de l'eau de Seltz dans le tube à essai contenant le précipité de carbonate de calcium obtenu précédemment, ce précipité disparaît, grâce à sa solubilité, dans un excès d'acide carbonique.

Ce précipité est de même soluble dans l'acide chlorhydrique.

Lorsqu'une eau contient du carbonate de calcium, en ajoutant une solution alcoolique de bois de campêche, il se produit une coloration rouge violet.

Cette coloration est d'autant plus foncée que l'eau renferme plus de carbonates.

Chlorures. — On fait un prélèvement de l'eau à examiner dans un tube à essai; on ajoute une solution d'azotate d'argent; s'il se produit un précipité blanc, qui disparaît en ajoutant de l'ammoniaque jusqu'à réaction franchement alcaline, c'est que le précipité formé est bien du chlorure d'argent :

$$AzO^3Ag + HCl = AgCl^2 + AzO^3Ag.$$

Par la formation du chlorure d'argent, on a l'indice de la présence des chlorures.

Azotates. — La recherche des azotates dans l'eau peut se faire au moyen du sulfate de diphénylamine.

Ce sulfate de diphénylamine se prépare en dissolvant $0^{gr},1$ de diphénylamine dans 10 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré et exempt de vapeurs nitreuses.

Pour effectuer la recherche des nitrates dans l'eau, on opère de la façon suivante :

Sur une soucoupe en porcelaine, on dépose une dizaine de gouttes de réactif, puis on verse, sur ce sulfate de diphénylamine, l'eau à essayer, goutte à goutte.

Il faut éviter de mettre un excès d'eau qui ferait disparaître la coloration; on emploie généralement au maximum 1/2 partie d'eau pour 1 de réactif. Si l'eau renferme des nitrates, il se produit une coloration bleue très nette, qui les caractérise. On arrive ainsi à déceler très bien la présence de 1 milligramme de nitrate par litre d'eau.

Pour rechercher les azotates, on peut encore se servir de brucine, qui permet de découvrir 1 à 2 milligrammes d'acide azotique dans une eau par la coloration rose formée.

Cet essai se fait, en mettant sur une soucoupe en porcelaine 5 à 6 gouttes d'eau à essayer, puis 5 à 6 gouttes de la solution de brucine, et, enfin, de l'acide sulfurique pur, complètement dépourvu de nitrate, qu'on verse goutte à goutte jusqu'à 15 environ.

S'il se produit une coloration rouge, c'est que l'eau contient des azotates.

La solution de brucine se prépare, en introduisant 1 centigramme de brucine dans 30 centimètres cubes d'eau distillée.

Nitrite. — Lorsqu'une eau contient des nitrites, cela prouve, tout d'abord, qu'elle est mal aérée.

On peut découvrir la présence des nitrites dans les eaux, à l'aide d'une solution de métaphénylène-diamine $C^6H^4(AzH^2)^2$, préparée de la façon suivante :

On dissout 5 centigrammes de métaphénylène-diamine dans 10 centimètres cubes d'eau distillée, à laquelle on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique ou chlorhydrique pur.

Il est bon de préparer cette solution peu de temps avant de s'en servir, car elle se conserve mal.

Pour effectuer la recherche des nitrites, on prend environ 20 centimètres cubes d'eau à essayer, et on ajoute 1/2 centimètre cube de réactif; la présence des nitrites se reconnaît à une coloration rouge jaune, qui apparaît avec d'autant plus de rapidité et se fonce qu'il y a de nitrites dans l'eau.

Cette réaction permet de découvrir la présence de 1 milligramme d'un azotite alcalin par litre d'eau, en donnant une coloration jaune très appréciable.

Dans cette réaction, il se produit, avec l'acide azoteux, une transformation de la métaphénylène-diamine en brun de Bismarck ou triamidazobensène.

On peut encore rechercher la présence des azotites par l'acide sulfanilique.

Pour opérer, on prend 10 centimètres cubes d'eau à essayer, on ajoute une goutte d'acide sulfurique bien pur étendu au 1/5, puis une goutte d'une solution saturée de sulfate de naphthylamine.

Si l'eau renferme des nitrites, il se forme une coloration qui va du rose au rubis; cette coloration a lieu avec d'autant plus de rapidité que la proportion de nitrites est plus grande.

Une eau, renfermant 1 milligramme de nitrite par litre, fournit une coloration rose très nette.

Le procédé de Tromsdorff, procédé très employé permet encore de reconnaître les nitrites dans l'eau par la coloration bleue, qui se produit avec d'autant plus d'intensité que les nitrites sont en plus grande proportion.

On introduit 20 centimètres cubes d'eau à examiner dans un tube à essai ; on ajoute 2 centimètres cubes de réactif de Tromsdorff et 4 à 5 centimètres cubes d'une solution d'acide sulfurique au 1/10.

Si l'eau contient des nitrites, il y a coloration bleue du liquide provoquée par la formation de l'iodure d'amidon.

Le réactif de Tromsdorff peut se préparer de la façon suivante :

On prend : 20 grammes de chlorure de zinc,
— 5 grammes d'amidon,
— 100 centimètres cubes d'eau distillée.

On fait bouillir le tout pendant six heures, et l'on ajoute de l'eau distillée, au fur et à mesure, pour remplacer l'eau évaporée.

Après refroidissement, on fait une addition de 2 grammes d'iodure de zinc, et, finalement, on étend le tout à 1 litre.

Le réactif est laissé en repos pendant vingt-quatre heures, puis décanté et conservé dans un flacon jaune à l'abri de la lumière.

Sulfocyanure. — Il arrive parfois que les eaux sont souillées par des infiltrations provenant d'usines à gaz ; ces eaux contiennent des sulfocyanures, corps absolument toxiques, qui doivent faire rejeter de pareilles eaux de certaines industries ayant pour but la préparation des boissons, telles que : cidre, bière, eaux, boissons gazeuses et glace.

Pour découvrir la présence du sulfocyanure dans une eau présumée en contenir, on concentre cette eau, on la

filtre, et on lui ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique et d'une solution de perchlorure de fer ; s'il y a des sulfocyanures dans l'eau, une coloration rouge apparaît avec d'autant plus d'intensité qu'ils s'y trouvent en plus grande quantité.

Sulfures. — On peut reconnaître la présence de l'hydrogène sulfuré libre ou combiné par l'azotate de plomb.

Si, en ajoutant à l'eau à essayer quelques gouttes d'une solution d'azotate de plomb, il se forme une coloration brune, c'est que l'eau contient des sulfures :

$$(AzO^3)^2Pb + H^2S = PbS + 2AzO^3H.$$

L'hydrogène sulfuré libre se reconnait aussi à l'odeur caractéristique d'œufs pourris qui se dégage.

En opérant de la façon suivante, on peut constater si l'eau contient, d'une part, de l'hydrogène sulfuré libre, d'autre part de l'hydrogène sulfuré combiné ou sulfure.

Pour cela, on prend un ballon dans lequel on introduit la moitié environ de son volume d'eau à essayer.

On ferme ensuite ce ballon avec un bouchon percé d'un trou, sur lequel on place une bande de papier trempée d'abord dans une dissolution d'acétate de plomb, et ensuite dans une dissolution de carbonate d'ammoniaque.

Après avoir agité le ballon, si le papier ne se colore pas en brun, c'est que l'eau ne contient pas de l'hydrogène sulfuré libre.

On ajoute quelques gouttes d'une solution d'azotate de plomb; si l'eau se colore en brun, c'est qu'elle renferme de l'hydrogène combiné ou sulfure.

Avec le nitroprussiate de soude, on peut découvrir la présence de l'hydrogène sulfuré combiné.

Les eaux contenant des sulfures donnent, avec une solution de nitroprussiate de soude, une coloration violette qui disparaît peu à peu.

L'hydrogène sulfuré libre ne donne pas cette coloration avec le nitroprussiate de soude.

Phosphate. — Pour rechercher l'acide phosphorique, on fait un prélèvement de 25 centimètres cubes d'eau à essayer qu'on introduit dans un tube à essai, et on acidule par de l'acide azotique; puis, par ébullition, on réduit son volume d'environ moitié, et l'on filtre.

On prend ensuite, dans un autre tube à essai, 2 centimètres cubes d'eau concentrée, puis on ajoute 6 à 7 centimètres cubes d'une solution de molybdate d'ammoniaque.

On porte ce tube à essai à une température de 35° à 40°C.; s'il se produit un précipité jaune, c'est que l'eau contenait des phosphates en solution.

Ce précipité formé est du phosphomolybdate d'ammoniaque, corps jaune qui est d'autant plus lent à se produire que l'eau contient de faibles quantités de phosphate.

Silicates, acide silicique. — Cette recherche peut se faire en évaporant à siccité, dans une capsule en porcelaine, 500 centimètres cubes, que l'on acidule, au préalable, avec de l'acide chlorhydrique.

On obtient alors un résidu auquel on ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique, puis on étend d'eau, on filtre et on lave le résidu filtré à l'eau distillée.

On calcine ce précipité; s'il y a de la silice dans l'eau, on obtient une poudre blanche.

Cette silice possède la propriété de se dissoudre complètement dans l'acide fluorhydrique par plusieurs évaporations successives.

§ 2. — RECHERCHES QUALITATIVES DES BASES

Chaux. — La chaux peut se reconnaître dans l'eau en se servant de l'oxalate d'ammoniaque.

Il suffit, pour cela, de prendre 50 centimètres cubes

environ d'eau à essayer dans un tube à essai, d'y ajouter 2 ou 3 gouttes d'ammoniaque, puis 2 ou 3 centimètres cubes d'une solution de chlorure d'ammonium à 10 0/0, et enfin quelques centimètres cubes d'une solution d'oxalate d'ammonium à 10 0/0.

On laisse reposer ensuite le tout, et s'il se forme un précipité blanc insoluble dans les acides : acétique et oxalique, mais soluble dans les acides minéraux : chlorhydrique et azotique, c'est que l'eau contenait des sels de chaux, et le précipité obtenu est de l'oxalate de calcium.

Magnésie. — Pour savoir si une eau contient des sels de magnésie, on commence par opérer, comme pour la recherche de la chaux, ainsi qu'il a été dit.

Une fois que le précipité d'oxalate de calcium est bien déposé, on filtre dans un verre et sur le liquide filtré; on peut ensuite procéder à la recherche de la magnésie.

On ajoute dans ce liquide filtré du phosphate de soude; on agite vigoureusement le liquide avec une baguette de verre, puis on laisse déposer une douzaine d'heures.

S'il s'est formé un précipité blanc cristallin, cela prouve qu'on a obtenu un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien et, par suite, que l'eau contenait bien de la magnésie.

Ammoniaque. — Pour rechercher si une eau contient de l'ammoniaque libre ou combiné, on prend une prise d'essai de 50 centimètres cubes environ, qu'on introduit dans une capsule, en ayant soin de l'aciduler de quelques gouttes d'acide chlorhydrique, puis on évapore presque complètement.

On prend un tube à essai, dans lequel on introduit le produit de la concentration, et on ajoute de la chaux pure (1 gramme environ) ; ceci fait, on place contre l'ouverture du tube à essai une bande de papier de tournesol rouge qu'on a soin de mouiller avec de l'eau distillée.

On chauffe ensuite le tube à essai ; si l'eau contient de

l'ammoniaque ou des sels ammoniacaux, le papier tournesol bleuit :

$$2AzH^4Cl + Ca(OH)^2 = CaCl^2 + AzH^3 + 2H^2O.$$

De plus, l'odeur caractéristique de l'ammoniaque se perçoit nettement.

La recherche de l'ammoniaque peut aussi s'effectuer par le réactif de Nessler.

Pour cela, on prend 50 centimètres cubes environ d'eau à essayer, on ajoute 5 centimètres cubes environ de réactif de Nessler, et on agite quelques instants.

Si l'eau contient de l'ammoniaque, il se produit une coloration rougeâtre, d'autant plus intense que l'ammoniaque se trouve en plus grande quantité.

Le réactif de Nessler se prépare en prenant 25 grammes d'iodure de potassium qu'on dissout à chaud dans 25 centimètres cubes d'eau, puis on fait une solution saturée à chaud de bichlorure de mercure, qu'on ajoute à la précédente, jusqu'à ce que le précipité rouge d'iodure de mercure ne se dissolve plus.

Le liquide ainsi obtenu est filtré à chaud ; on y ajoute une solution de 75 grammes de potasse caustique dans 100 centimètres cubes d'eau distillée, et on complète le tout à 500 centimètres cubes ; enfin on introduit encore quelques centimètres cubes de la solution de bichlorure de mercure.

On laisse déposer ; on décante le liquide clair, et le réactif de Nessler ainsi obtenu est prêt à être employé ; ce réactif est conservé dans l'obscurité dans un flacon bien bouché.

Soude et potasse. — Pour constater la présence des métaux alcalins, soude ou potasse, ou les sels de ces métaux alcalins, on prend 50 centimètres cubes environ d'eau à examiner, dans laquelle on introduit de la baryte en excès.

Le carbonate de chaux en solution dans l'eau se précipite, ainsi que tous les métaux ou sels métalliques, exceptés cependant les alcalins et les alcalino-terreux.

Le liquide est ensuite filtré, et, dans le filtratum, on précipite le sulfate et le chlorure de calcium, ainsi que l'excès de baryte, qui peuvent se trouver dans l'eau, par du carbonate d'ammoniaque.

Le liquide est filtré, évaporé à sec, et, afin de chasser les sels ammoniacaux, on calcine le résidu.

La recherche des **métaux alcalins, soude et potasse.** s'effectue sur ce résidu calciné.

Pour cela, on ajoute de l'eau distillée ; les sels de potassium et de sodium, étant solubles dans l'eau, sont dissous ; on partage le liquide en deux portions ; dans l'une on recherche la soude ; dans l'autre, la potasse.

Soude. — Si l'eau contient de la soude en ajoutant du pyroantimoniate acide de potassium (biméta-antimoniate de potassium), à l'une des portions de l'eau traitée de la façon précédente, il se forme un précipité blanc cristallin, mais qui demande un temps assez long à se produire.

Potasse. — Dans l'autre portion du liquide, concentré le plus possible, on ajoute du chlorure de platine ; si l'on obtient un précipité jaune, c'est que l'eau renferme bien de la potasse ou des sels de potassium.

Ce précipité jaune est un chlorure double ou chloroplatinate de potassium.

On peut encore montrer la présence de la potasse en ajoutant à l'eau traitée, comme précédemment, une solution très concentrée de sulfate d'alumine ; on obtient, s'il y a de la potasse, un précipité cristallin blanc, qui est de l'alun ou sulfate double d'alumine et de potasse.

Enfin, en employant le tartrate acide de soude, on obtient avec la potasse un précipité blanc cristallin de crème de tartre ou tartrate acide de potassium, dont on peut faciliter la formation par une agitation.

§ 3. — RECHERCHE QUALITATIVE DES MÉTAUX

Fer. — Pour déceler la présence du fer dans l'eau, on prend 20 centimètres cubes d'eau à essayer; on ajoute quelques gouttes d'acide azotique, et le liquide est concentré par ébullition.

Laissant refroidir complètement le liquide, on ajoute quelques gouttes d'une solution de sulfocyanure d'ammonium ; si le liquide prend une coloration rouge, c'est que l'eau contient du fer.

Si, à la place du sulfocyanure de potassium, on ajoute du ferrocyanure de potassium, on obtient une coloration bleue, si l'eau contient un sel de fer. Les colorations rouge et bleue sont d'autant plus intenses que l'eau renferme plus de fer.

Plomb. — On reconnaît la présence du plomb ou d'un sel de ce métal si, en introduisant des portions de cette eau dans une série de tubes à essais, on obtient avec les réactifs suivants les caractères ci-dessous :

Par l'hydrogène sulfuré : Précipité noir, insoluble dans le sulfhydrate d'ammoniaque ;

Par le sulfhydrate d'ammoniaque : Précipité noir, insoluble dans un excès de réactif ;

Par l'iodure de potassium : Précipité jaune, soluble dans un excès d'iodure de potassium ou dans la potasse;

Par le chromate de potasse : Précipité jaune, soluble dans la potasse et insoluble dans l'acide azotique étendu.

Cuivre. — Le cuivre contenu dans l'eau peut se reconnaître aux caractères suivants :

Avec l'hydrogène sulfuré : Précipité noir;

Avec le ferrocyanure de potassium : Précipité rouge brun, insoluble dans l'acide chlorhydrique; cette réaction est très sensible ;

Avec l'ammoniaque : Coloration bleue.

Il est bon, lorsqu'on effectue la recherche du cuivre, de concentrer, au préalable, l'eau à examiner.

Zinc. — Comme pour la recherche du cuivre, on commence par concentrer l'eau par évaporation.

Si cette eau contient du zinc, en lui ajoutant quelques gouttes d'acide chlorhydrique, en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré, puis en ajoutant de l'ammoniaque, on obtient un précipité blanc de sulfure de zinc :

$$ZnCl^2 + H^2S = ZnS + 2HCl.$$

Avec le sulfhydrate d'ammoniaque, en rendant, au préalable, l'eau franchement ammoniacale, on obtient de même un précipité blanc de sulfure de zinc.

Le sulfure de zinc obtenu est soluble dans l'acide chlorhydrique et insoluble dans un excès de sulfhydrate d'ammoniaque.

Si l'eau contient du zinc, en introduisant une solution de potasse dans le produit de sa concentration, ou de l'ammoniaque, on obtient un précipité blanc, soluble dans un excès de réactif.

Arsenic. — On ajoute de l'acide azotique à l'eau à essayer, on la concentre et l'évapore à sec.

Au résidu ainsi obtenu, on ajoute de l'acide sulfurique, puis on calcine fortement pour chasser l'acide azotique.

Après refroidissement, le résidu est traité par de l'eau distillée, puis introduit dans l'appareil de Marsh, et ce résidu est soumis à l'action de l'hydrogène naissant.

On allume le gaz hydrogène après quelques instants de dégagement, pour que l'air contenu dans l'appareil puisse s'échapper.

Par l'action de l'hydrogène naissant, on obtient, s'il y a de l'arsenic dans l'eau, de l'hydrogène arsénié.

Sur les parois froides se dépose de l'arsenic métallique, sous forme d'un anneau noir.

Cet arsenic, recueilli, et traité d'abord par de l'acide azotique, puis par de l'acétate d'argent, donne un précipité rouge brique d'arséniate d'argent.

En allumant le gaz, qui se dégage de l'appareil de Marsh, s'il y a de l'arsenic dans l'eau, on obtient de l'hydrogène

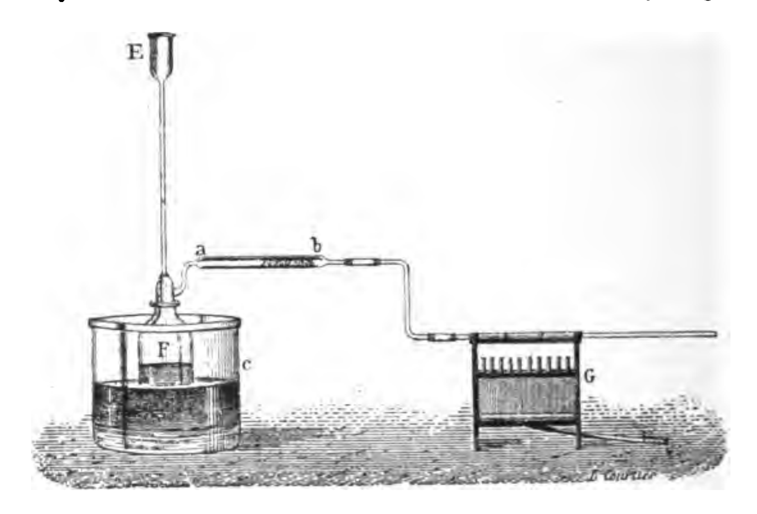


Fig. 126. — Appareil Marsh pour rechercher l'arsenic.

arsénié qui brûle avec une flamme livide ; écrasée contre une soucoupe en porcelaine, brûlant ainsi avec moins d'oxygène, la flamme provoque une tache noire d'arsenic métallique.

Cet hydrogène arsénié, dégagé dans une solution d'un sel de cuivre ou d'argent, donne un précipité noir.

§ 4. — RECHERCHE DES MATIÈRES ORGANIQUES

Une eau qui contient des matières organiques réduit le chlorure d'or en précipitant une poudre brune d'or métallique.

Pour faire l'essai, on fera bouillir l'eau, un petit moment,

avec quelques gouttes d'une solution de chlorure d'or ; la présence des matières organiques sera décélée par une coloration brune.

On peut encore reconnaître les matières organiques par la décoloration qu'elles produisent avec le permanganate de potasse.

Une eau contenant des matières organiques décolore donc le permanganate de potassium; mais l'action décolorante est variable, suivant la nature de ces matières organiques.

Certaines substances, comme la gomme, l'urée et le sucre, agissent d'une façon incomplète sur le permanganate de potassium; mais, par contre, d'autres corps, en dehors de matières organiques, tels que : l'hydrogène sulfuré, les azotites, les sels de fer au minimum, agissent aussi sur le permanganate de potassium pour le décolorer.

En employant cette réaction, il peut donc y avoir ambiguité, et c'est pourquoi il est bon de faire d'autres essais.

Souvent les matières organiques sont en décomposition dans l'eau, et leur présence est indiquée par l'odeur d'hydrogène sulfuré qui se dégage.

Cet hydrogène sulfuré peut être mis encore en évidence, par la coloration noire qui se forme, lorsqu'on ajoute quelques gouttes d'une solution de protoxyde de plomb dans la soude caustique.

Cette coloration est due à la formation d'un précipité de sulfure de plomb noir.

CHAPITRE II

HYDROTIMÉTRIE

L'hydrotimétrie permet de déterminer rapidement la valeur d'une eau et de connaître : 1° son titre, c'est-à-dire la place qu'elle occupe dans l'échelle hydrotimétrique des eaux ; 2° sa dureté, c'est-à-dire la proportion de matières terreuses qu'elle contient.

On peut savoir, de plus, la quantité exacte de savon qui sera consommée dans le savonnage pratiqué sur une eau de composition déterminée et se faire une idée de sa valeur au point de vue industriel et de la cuisson des légumes.

En développant le principe de Clarke par lequel il est dit que la dureté d'une eau est proportionnelle aux sels terreux qu'elle contient et peut être déterminée par la quantité de teinture de savon nécessaire pour y produire la mousse persistante, MM. Boutron et Boudet ont établi une méthode rapide hydrotimétrique.

Cette méthode repose sur le fait fondamental de la production de la mousse par le savon dans l'eau pure, et de l'obstacle qui s'oppose à la production de cette mousse par une transformation du savon employé en composés insolubles.

Si l'on verse quelques gouttes d'une solution alcoolique de savon dans un flacon contenant de l'eau distillée, et qu'on agite ce flacon, il se produit immédiatement une mousse persistante.

Cependant, si l'on répète cette expérience avec une eau renfermant des sels calcaires ou magnésiens, la mousse com-

mencera à se produire une fois que l'action de ces sels de chaux et de magnésie aura été neutralisée, et il faudra employer, pour cela, une quantité de teinture de savon, d'autant plus grande que l'eau contiendra plus de sels calcaires ou magnésiens.

On conçoit que ces observations fournissent une méthode d'analyse.

Cette méthode permet de connaître la somme des matières calcaires et magnésiennes contenues dans l'eau, c'est-à-dire la dureté totale ou le degré hydrotimétrique.

On peut encore obtenir la dureté permanente d'une eau, qui est définie par le degré hydrotimétrique observé après ébullition de l'eau à examiner.

Enfin la dureté temporaire d'une eau s'entend par le degré obtenu, en faisant la différence des nombres trouvés pour la dureté totale et la dureté permanente de cette eau.

Dans la détermination de la dureté permanente, après avoir précipité le carbonate de calcium, en chassant l'acide carbonique par ébullition, on ne doit pas oublier, après refroidissement, de rétablir le niveau de l'eau à son niveau primitif avec de l'eau distillée, avant de faire la détermination de ce titre hydrotimétrique.

§ 1. — PRÉPARATION DES SOLUTIONS. — APPAREILS

On se sert pour l'hydrotimétrie :

1° D'une liqueur titrée de savon, dite liqueur hydrotimétrique;

2° D'une dissolution de chlorure de calcium ;

3° D'une dissolution d'oxalate d'ammoniaque.

Liqueur hydrotimétrique. — Cette liqueur se prépare en dissolvant :

Savon blanc de Marseille	100 grammes.
Alcool à 90°.	1.600 —

On chauffe jusqu'à l'ébullition pour dissoudre le savon ; on filtre pour séparer les matières étrangères du savon, et on ajoute au filtratum :

Eau distillée . . . . 1.000 grammes

ce qui doit fournir 2.700 grammes de liqueur, qui a pour titre un nombre très rapproché de celui qu'on se propose d'obtenir.

Il est préférable d'employer, à la place du savon de Marseille, du savon médicinal, appelé encore savon amygdalin; cette liqueur fournit immédiatement une liqueur au titre voulu, titre 22.

A cause des impuretés nombreuses et variables, qui se trouvent dans le savon de Marseille, et qui ont eu pour conséquence d'amener souvent des désaccords dans les résultats analytiques, M. Courtonne a proposé de fabriquer le savon de toutes pièces, en opérant de la façon suivante.

On chauffe à l'ébullition dans un ballon :

30^{cc} d'huile d'olives ou d'amandes douces.
10^{cc} de soude à 36° (3^{gr} de soude caustique dans 10^{cc} d'eau).
10^{cc} d'alcool.

Après quelques minutes, le savon est formé et on le dissout par une addition de :

900 centimètres cubes d'alcool à 60°.

On agite quelques instants, on filtre et on complète après refroidissement à 1 litre exactement avec de l'alcool à 60°.

Si l'opération est faite convenablement, le titre de cette liqueur doit être 22°, titre qu'on cherche a obtenir.

Solution de chlorure de calcium. — Cette solution de chlorure de calcium se prépare, en introduisant 0^{gr},25 de chlorure de calcium fondu $CaCl^2$ dans 1 litre d'eau distillée.

Il est préférable de préparer des solutions renfermant des

quantités équivalentes de sels de baryum : chlorure ou azotate ; on évite ainsi des erreurs, provenant des manipulations du chlorure de calcium, corps excessivement déliquescent.

On fait soit une solution contenant 0gr,59 d'azotate de baryum $(AzO^3)^2Ba$ par litre, soit 0gr,55 de chlorure de baryum $(BaCl^2 + 2H^2O)$ par litre d'eau distillée.

Solution d'oxalate d'ammoniaque. — La solution d'oxalate d'ammoniaque se prépare en dissolvant 1 gramme d'oxalate d'ammoniaque dans 60 centimètres cubes d'eau distillée.

Burette hydrotimétrique. — La vérification de la liqueur et la détermination des différents titres des eaux se font à l'aide d'un appareil appelé burette hydrotimétrique.

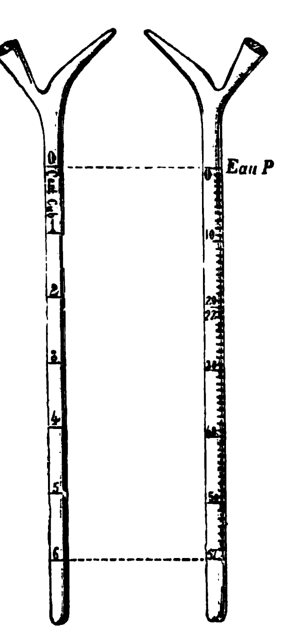


Fig. 127.— Burette hydrotimétrique.

Cette burette est graduée, de telle façon qu'une capacité de 2 centimètres cubes et 4 dixièmes, comptés à partir d'un trait circulaire situé au sommet de la burette, est divisée en 23 parties égales.

Les autres divisions de la burette doivent être exactement égales aux premières.

La division comprise entre le trait circulaire et le trait immédiatement inférieur indique la quantité de liqueur hydrotimétrique nécessaire pour produire de la mousse persistante avec 40 centimètres cubes d'eau distillée.

Le zéro est marqué au-dessous de la première division, et chaque division représente : 1° hydrotimétrique, et le nombre 22 est marqué à la division 23, à partir du trait circulaire du sommet de la burette.

Flacon d'essai. — Les différents essais, titrages de la liqueur et des eaux, se font dans un flacon bouché à l'émeri de 60 à 80 centimètres cubes de capacité, et jaugé par un trait circulaire à 40 centimètres cubes.

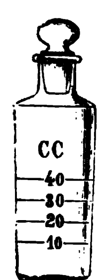


Fig. 128.-Flacon pour essai hydrotimétrique

Vérification de la liqueur hydrotimétrique. — Pour être exacte la liqueur hydrotimétrique, doit être telle que la burette, étant remplie jusqu'au trait circulaire situé au-dessus du zéro, on soit obligé de verser une quantité de liqueur hydrotimétrique égale à 22° de la burette dans 40 centimètres cubes de la solution de chlorure de calcium, pour obtenir une mousse persistante.

Pour opérer, on introduit 40 centimètres cubes de l'une des solutions, préparée, comme il a été indiqué, avec le chlorure de baryum, l'azotate de baryum ou le chlorure de calcium, dans le flacon bouché à l'émeri, jusqu'au trait de jauge, c'est-à-dire qu'on fait l'essai sur 40 centimètres cubes.

Ensuite on remplit la burette jusqu'au trait circulaire supérieur avec la liqueur hydrotimétrique à vérifier.

Ceci fait, on verse la liqueur jusqu'à la division 22 dans le flacon, au moment où l'on arrive à verser la liqueur hydrotimétrique au degré 22 il se produit après agitation ; une mousse persistante pendant cinq minutes environ; la liqueur hydrotimétrique est exacte, et la liqueur est dite normale.

Si la liqueur de savon indique un degré inférieur à 22°, on fera une addition d'eau à la liqueur pour ramener au degré voulu 22.

Pour diminuer la force de la liqueur de 1°, il faut ajouter environ 1/23 de son poids d'eau.

On pourrait calculer la quantité d'eau à ajouter, de la façon suivante :

Si n est le nombre de divisions lu sur la burette hydro-

timétrique, pour obtenir la mousse persistante avec la liqueur d'épreuve, on a l'équation :

$$\frac{n+1}{23} = \frac{1000}{x};$$

d'où :

$$n = \frac{23000}{n+1}.$$

Pour corriger la liqueur, il suffit d'ajouter une quantité d'eau égale à x — 1.000 centimètres cubes pour chaque litre de liqueur.

L'essai de la liqueur, ainsi modifiée, doit fournir 22°, c'est-à-dire 23 divisions environ.

On peut, cependant, faire les essais d'eau avec une liqueur hydrotimétrique qui ne serait pas normale.

Si, par exemple, on a noté qu'il fallait, au lieu de 22° de liqueur savonneuse, un nombre p, et si, dans le titrage d'une eau à essayer, on trouve qu'il faut un nombre q de cette même liqueur savonneuse, on déduira le degré réel de cette eau d'après la formule :

$$x = \frac{22}{p}(q+1) - 1.$$

x désignant le degré réel.

Avec la liqueur hydrotimétrique normale, en tenant compte que 22° de liqueur hydrotimétrique sont neutralisés par 1 centigramme de chlorure de calcium, 40 grammes de solution de chlorure de calcium $CaCl^2$, contenant $0^{gr},25$ de ce chlorure par litre, on déduit que : 1 degré correspond à $\frac{0,01}{22} = 0,00045$ de ce chlorure de calcium.

En conséquence, chaque degré de liqueur hydrotimétrique, étant neutralisé par 40 centimètres cubes de solution de chlorure de calcium à $0^{gr},25$ par litre, représente :

$$\frac{0^{gr},01 \times 25}{22} = 0,0114 \text{ de chlorure de calcium par litre.}$$

La *burette* est graduée, de telle façon qu'en opérant avec 40 centimètres cubes de dissolution de chlorure de calcium normale on doit verser 22° de liqueur hydrotimétrique, pour obtenir la mousse persistante.

En considérant les proportions de savon neutralisé, on admet que chaque degré de la burette correspond à $0^{gr},1$ de savon neutralisé par litre (le nombre exact est $0^{gr},106$).

La graduation de la burette et la composition de la liqueur hydrotimétrique permettent donc, en opérant sur 40 centimètres cubes d'une solution contenant un poids quelconque de chlorure de calcium par litre, de savoir, par le degré correspondant à la mousse persistante, le poids exact de chlorure de calcium qu'elle renferme et la proportion de savon qu'elle neutralise.

Il est facile de comprendre que, par un petit calcul de proportion, on peut établir les poids correspondants à un degré de la burette, pour toutes les solutions de sels terreux.

Ces sels forment avec leurs bases terreuses : calcium, magnésium ou baryum, des composés insolubles, en présence des acides gras du savon ; et leur dosage peut donc se faire exactement, de la même manière que pour le chlorure de calcium.

Ces considérations permettent : de procéder aux dosages des différents sels terreux contenus dans l'eau, c'est-à-dire à la détermination de leur proportion.

D'une façon générale, en employant la méthode hydrotimétrique, on détermine, rapidement, le poids des sels de calcium et de magnésium qui se trouvent le plus souvent dans les eaux.

§ 2. — MANIPULATIONS

Détermination du degré hydrotimétrique total ou dureté totale d'une eau. — Avant d'opérer, il est bon de faire un petit essai pour établir les conditions d'expérience.

Essai préliminaire. — On prend 20 à 25 centimètres cubes d'eau à essayer; on les introduit dans un vase en verre, et on ajoute 1 centimètre cube environ de liqueur hydrotimétrique.

Après avoir agité le mélange quelques instants, on observe l'état de ce mélange.

Si l'eau ne donne pas de grumeaux et prend seulement une teinte opaline, on se trouve dans d'excellentes conditions pour pratiquer l'essai; on peut alors opérer immédiatement sur l'eau à essayer.

Si cette eau donne, au contraire, des grumeaux, cela prouve qu'elle est trop chargée de sels calcaires et magnésiens, et qu'il est nécessaire, pour obtenir de bons résultats dans la suite, de modifier cette eau, pour diminuer la quantité trop grande de ces sels alcalino-terreux, afin de rendre cette eau à un titre inférieur à 30° hydrotimétriques.

Il suffit, pour faire cette modification, d'ajouter à l'eau à essayer un volume d'eau distillée égal à 1, 2, 3 fois celui de l'eau à essayer, pour l'amener à un titre inférieur à 30°.

Bien entendu, on ne doit pas oublier d'en tenir compte, et, par conséquent, de multiplier le résultat obtenu comme titre hydrotimétrique par 1, 2, 3 fois, si l'on a ajouté au préalable 1, 2, 3 fois, un volume d'eau distillée à l'eau dont on veut faire l'analyse.

Nota. — Il est important de s'assurer de la pureté de l'eau distillée à employer et d'observer le nombre de divisions de liqueur hydrotimétrique normale à verser pour obtenir la mousse persistante.

Si, pour obtenir ce résultat avec l'eau distillée, on était obligé de mettre plus d'une division, c'est-à-dire plus de l'espace réservé contenu entre le trait circulaire supérieur et 0°, il faudrait en tenir compte.

De même il est bon de vérifier la liqueur hydrotimétrique avec une des solutions normales de chlorure de baryum, d'azotate de baryum ou de chlorure de calcium,

car, sous certaines influences, le titre de cette liqueur peut varier, et, par suite, fausser les résultats.

Prise du degré hydrotimétrique total. — On introduit 40 centimètres cubes d'eau à essayer dans le flacon jaugé.

Après avoir rempli la burette hydrotimétrique avec la liqueur de savon, préparée comme il a été indiqué plus haut, on laisse couler goutte à goutte cette liqueur dans l'eau, en ayant soin d'agiter fréquemment le flacon.

Au moment où il se produit une mousse persistante fine, de 1/2 centimètre environ de hauteur et persistante pendant près de cinq minutes, on arrête l'opération; enfin on note le nombre de degrés de liqueur de savon versée.

Ce nombre de degrés indique le titre hydrotimétrique de l'eau examinée, ou l'état de sa pureté, et le nombre de décigrammes de savon neutralisé par litre de cette eau.

Si, par exemple, le nombre de degrés de liqueur hydrotimétrique de savon versée est 25, cela prouve que cette eau correspond dans l'échelle hydrotimétrique, à la place 25°, l'eau distillée occupant la première place avec 0° comme titre hydrotimétrique.

En outre, il résulte qu'un litre de cette eau, qui vient de donner 25° comme litre hydrotimétrique, neutralise 20gr,5 de savon, c'est-à-dire 2gr,5.

On peut se faire une idée immédiate de la valeur de l'eau à essayer en comparant son degré avec certaines eaux classées dans le tableau suivant.

Les nombres indiqués comme correspondant à ces eaux ont été déterminés par MM. Boutron et Boudet; le degré hydrotimétrique, ainsi que la consommation de savon, sont marqués dans ce tableau :

DÉSIGNATION DES EAUX	DEGRÉ hydrotimétrique ou dureté totale	CONSOMMATION de savon ou perte par litre d'eau avant de produire l'effet utile ou mousse persistante
		grammes.
Eau distillée	0°	»
— de neige	2°5	0,25
— de pluie	3°5	0,35
— de l'Allier à Moulins	3°5	0,35
— de la Dordogne à Libourne	4°5	0,45
— de la Garonne	5°	0,50
— de la Loire à Tours	5°5	0,55
— de la Loire à Nantes	5°5	0,55
— du puits de Grenelle	9°	0,90
— — artésien de Passy	11°	1,10
— de la Soude	13°5	1,35
— de la Somme Soude	13°5	1,35
— de la Somme, départ de la Marne.	14°	1,40
— du Rhône	15°	1,50
— de la Saône	15°	1,50
— de l'Yonne	15°	1,50
— de la Seine au pont d'Ivry	15°	1,50
— — —	17°	1,70
— de la Vanne (diverses sources)	18° à 20°	1,80 à 2,00
— de la Seine à Chaillot	23°	2,30
— de la Marne à Charenton	23°	2,30
— de l'Oise à Pontoise	21°	2,10
— de la Dhuis à la source	24°	2,40
— de l'Escaut à Valenciennes	24°5	2,45
— du canal de l'Ourcq	30°	3,00
— d'Arcueil	28°	2,80
— des Prés-Saint-Gervais	72°	7,20
— de Belleville	128°	12,80

Détermination de l'acide carbonique, des sels de chaux et des sels de magnésie contenus dans les eaux. — Pour déterminer l'acide carbonique, les sels de chaux et les sels de magnésie contenus dans une eau, il faut faire quatre opérations :

1° Prendre le degré hydrotimétrique total de l'eau, à son état naturel;

2° Prendre le degré de cette eau, après avoir précipité la chaux qu'elle contient par l'oxalate d'ammoniaque;

3° Prendre le degré de l'eau, après l'avoir fait bouillir,

afin de chasser l'acide carbonique et enlever le carbonate de chaux;

4° Enfin prendre le degré de l'eau, après l'avoir fait bouillir, et précipiter au moyen de l'oxalate d'ammoniaque les sels de chaux qui n'avaient pu se séparer par l'ébullition.

Ces différentes opérations exigent :

1° Une solution d'oxalate d'ammoniaque. Cette solution se prépare en ajoutant 1 gramme d'oxalate d'ammoniaque dans 60 grammes d'eau;

2° Un ballon en verre, portant un trait circulaire sur le col, et tel qu'il indique un volume de 100 centimètres cubes environ.

Manuel opératoire. — 1° Cette opération a été décrite précédemment :

2° Une fois le degré hydrotimétrique de l'eau à l'état naturel déterminé, on prélève une nouvelle prise d'essai de l'eau à examiner ; on introduit 50 centimètres cubes de cette eau dans un verre à expériences, et on ajoute 2 centimètres cubes de la solution d'oxalate d'ammonium.

Après avoir agité fortement le liquide avec une baguette de verre, on l'abandonne pendant près d'une demi-heure, et les sels de chaux sont précipités par l'oxalate d'ammoniaque sous forme d'oxalate de chaux qui se dépose :

Le liquide est filtré, on obtient alors l'eau débarrassée de tous les sels de chaux ; on en prélève 40 centimètres cubes, et on en détermine le degré.

3° Ensuite on remplit d'eau à essayer le ballon jusqu'à son trait circulaire, et on la fait bouillir pendant une demi-heure environ, afin d'en précipiter le carbonate de calcium.

Il faut conduire l'ébullition avec ménagement, afin d'éviter toute perte de liquide, et, par suite, de troubler les résultats de l'analyse. On laisse complètement refroidir l'eau ; on rétablit le niveau de l'eau jusqu'au trait circulaire, avec de

l'eau distillée pour remplacer celle qui a été enlevée par vaporisation.

Après avoir fermé le ballon avec un bouchon, on l'agite pour mélanger convenablement le liquide, et finalement on filtre pour séparer les corps précipités.

On détermine le degré de cette eau, bouillie et filtrée, en prenant 40 centimètres cubes et en opérant avec la liqueur hydrométrique de savon, comme il a été indiqué.

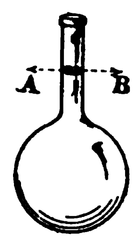


Fig. 129. — Ballon jaugé pour analyse hydrotimétrique.

Enfin on élimine les sels de chaux, qui n'ont pu être précipités à l'état de carbonate de calcium.

En conséquence, on prélève 50 centimètres cubes de cette eau bouillie, dont on a complété la perte due à l'évaporation par de l'eau distillée.

Dans les 50 centimètres cubes de cette eau, qu'on introduit dans un verre à expériences, on ajoute 2 centimètres cubes d'oxalate d'ammonium, et on agite fortement avec une baguette de verre.

Finalement on laisse reposer, environ une demi-heure, le liquide ainsi préparé ; on le filtre et on en introduit 40 centimètres cubes dans le flacon pour en déterminer le degré par la liqueur hydrotimétrique.

§ 3. — CALCULS ET FORMULES

Calcul des résultats obtenus. — Désignons par α, β, γ, δ, les nombres de degrés qui correspondent aux chiffres trouvés en opérant :

a) Avec l'eau directement ;

b) Avec l'eau traitée par l'oxalate d'ammonium ;

c) Avec l'eau bouillie ;

d) Avec l'eau bouillie, non traitée par l'oxalate d'ammonium.

On doit faire subir une correction au résultat *c* obtenu en prenant le degré avec l'eau bouillie.

En vertu de la solubilité du carbonate de chaux, on ne parvient pas à le précipiter complètement.

L'évaluation faite par MM. Bouton et Boudet est de $0^{gr},03$ de carbonate de calcium, qui reste en solution dans l'eau, après en avoir porté 1 litre à l'ébullition.

Par conséquent, pour corriger le résultat, il suffira de retrancher 3° au chiffre observé dans la détermination *c* sur l'eau, après son ébullition, de telle sorte que si γ est le nombre de degrés trouvé, on aura $\gamma - 3$.

Ainsi donc :

α représente la somme des actions exercées sur le savon par l'acide carbonique, le carbonate de chaux, les sels de chaux et les sels de magnésie contenus dans l'eau à analyser :

(1) $\alpha = Co^2 + Co^3Ca +$ autres sels de Ca + sels de Mg ;

β représente les sels de magnésie et l'acide carbonique, qui sont encore dans l'eau, après avoir séparé la chaux par l'oxalate d'ammonium :

(2) $\alpha - \beta =$ sels de chaux ;

γ, en tenant compte de la correction, $c - 3$ représente les sels de magnésie et les sels de chaux autres que le carbonate :

(3) $\alpha - (\gamma - 3) = Co^3Ca + Co^2$,

ou :

$\alpha - \gamma + 3 = Co^3Ca + Co^2$; (3)

δ représente les sels de magnésie contenus dans l'eau ; car, par l'ébullition, on a éliminé l'acide carbonique et le carbonate de chaux et, par l'oxalate d'ammoniaque, on a pu enlever les autres sels de chaux :

(4) $\delta =$ sels de magnésium.

On a donc quatre équations, au moyen desquelles la valeur des inconnues peut être tirée.

Ainsi l'acide carbonique s'obtient en retranchant la somme des degrés des sels de chaux et de magnésie contenus dans l'eau, du degré hydrotimétrique de l'eau à son état naturel, c'est-à-dire la différence entre l'équation (1) et la somme des équations (2) et (4).

On a pour l'acide carbonique :

(5) $$\alpha - \left[(\alpha - \beta) + \delta\right] = Co^2,$$

ou :

$$\beta - \delta = Co^2. \qquad (5)$$

De plus, connaissant les degrés correspondant, d'une part, à l'acide carbonique, et d'autre part à la somme des actions exercées par l'acide carbonique et le carbonate de calcium, en faisant la différence de ces degrés, on aura le degré correspondant au carbonate de calcium, c'est-à-dire la différence entre les équations (3) et (5).

On a donc :

(6) $$\alpha - \gamma + 3 - (\beta - \delta) = Co^3Ca,$$

ou :

$$\alpha - \gamma + 3 - \beta + \delta = Co^3Ca. \qquad (6)$$

Connaissant maintenant les degrés, correspondant, d'une part, aux sels de chaux en totalité et, d'autre part, au carbonate de calcium, on obtiendra le degré correspondant au sulfate de calcium, aux sels de calcium autres que le carbonate de calcium, en faisant la différence de ces deux degrés, c'est-à-dire en retranchant l'équation (6) de l'équation (2).

Pour le sulfate de calcium ou les sels de chaux autres que le carbonate de calcium, on a :

(7) $$\alpha - \beta - \alpha + \gamma - 3 + \beta - \delta = So^4Ca,$$

ou sels de chaux autres que le carbonate ;
ou :

$$\gamma - \delta = So^4Ca,$$

ou sels de chaux autres que le carbonate.

Formules. — Les degrés observés sur l'eau à analyser étant représentés par α, β, γ, δ, pour les quatre opérations pratiquées avec la liqueur hydrométrique de savon, les formules suivantes permettent d'avoir le nombre de degrés correspondant aux différents sels :

Acide carbonique	$= \beta - \delta$
Carbonate de chaux	$= \alpha - \gamma + 3 - \beta + \delta$
Sulfate de chaux ou sels de chaux autres que le carbonate	$= \gamma - \delta$
Sels de magnésie	$= \delta$

Etant données les formules précédentes, il est facile, à l'aide du tableau ci-dessous, de transformer les degrés trouvés en poids pour les sels et en volume pour l'acide carbonique.

Pour cela, il n'y a qu'à multiplier le degré obtenu pour chaque corps par le nombre correspondant à ce corps situé dans le tableau suivant :

TABLEAU D'ÉQUIVALENTS EN POIDS DE 1 DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE POUR 1 LITRE D'EAU

	gram.
Chaux	1° = 0,0057
Chlorure de calcium.....................	1° = 0,0114
Carbonate de calcium	1° = 0,0103
Sulfate de calcium......................	1° = 0,0140
Magnésie	1° = 0,0042
Chlorure de magnésium...................	1° = 0,0090
Carbonate de magnésium..................	1° = 0,0088
Sulfate de magnésium	1° = 0,0125
Chlorure de sodium......................	1° = 0,0120
Sulfate de sodium	1° = 0,0146
Acide sulfurique........................	1° = 0,0082
Chlore	1° = 0,0075
Savon à 50 °/₀ d'eau....................	1° = 0,1061
	litre.
Acide carbonique........................	1° = 0,005

Si l'on applique les nombres trouvés dans ce tableau aux formules précédentes et que l'on suppose que l'eau contient

la chaux à l'état de carbonate et de sulfate, et la magnésie à l'état de sulfate, ces formules deviendront :

Acide carbonique	$= (\beta - \delta)$ 0^lit^,015
Carbonate de chaux........	$= (\alpha - \gamma + 3 - \beta + \delta)$ 0gr,0103
Sulfate de chaux...........	$= (\gamma - \delta)$ 0gr,0140
Sulfate de magnésie........	$= \delta \times$ 0gr,0125

Remarque. — A cause de la faible proportion d'acide carbonique libre, contenue dans les eaux douces, et du peu de différence des nombres proportionnels relatifs aux divers sels de l'eau, sulfates de chaux et de magnésie, et carbonate de chaux, il en résulte que le degré hydrotimétrique d'une eau représente à peu près le poids en centigrammes de sels terreux contenus dans 1 litre de cette eau.

Si donc on trouve pour degré hydrotimétrique d'une eau à essayer le degré α, on peut dire immédiatement que le poids des sels terreux qu'elle renferme par litre doit être très voisin du centième du nombre α, c'est-à-dire $0{,}0\alpha$.

Hydrotimétrie avec une burette graduée quelconque et une liqueur de savon de titre quelconque. — Les opérations de l'hydrotimétrie qui ont été examinées ne nécessitent pas, pour les pratiquer, l'emploi de la burette hydrotimétrique.

On peut arriver très bien aux résultats de l'hydrotimétrie, en se servant d'une burette ordinaire graduée en dixièmes de centimètre cube, qui se trouve dans tous les laboratoires d'essais et analyses : burette de Mohr ou burette de Gay-Lussac.

Supposons, de plus, que la liqueur de savon ne soit pas normale et qu'on opère par conséquent avec une liqueur de titre quelconque.

Si l'on désigne par ε le nombre de centimètres cubes de liqueur d'épreuve de savon nécessaire, pour produire la mousse persistante avec l'eau distillée, et θ le nombre de centimètres cubes de liqueur d'épreuve, pour obtenir le même résultat dans l'eau à essayer.

En désignant par x le degré correspondant, qu'on trouve-

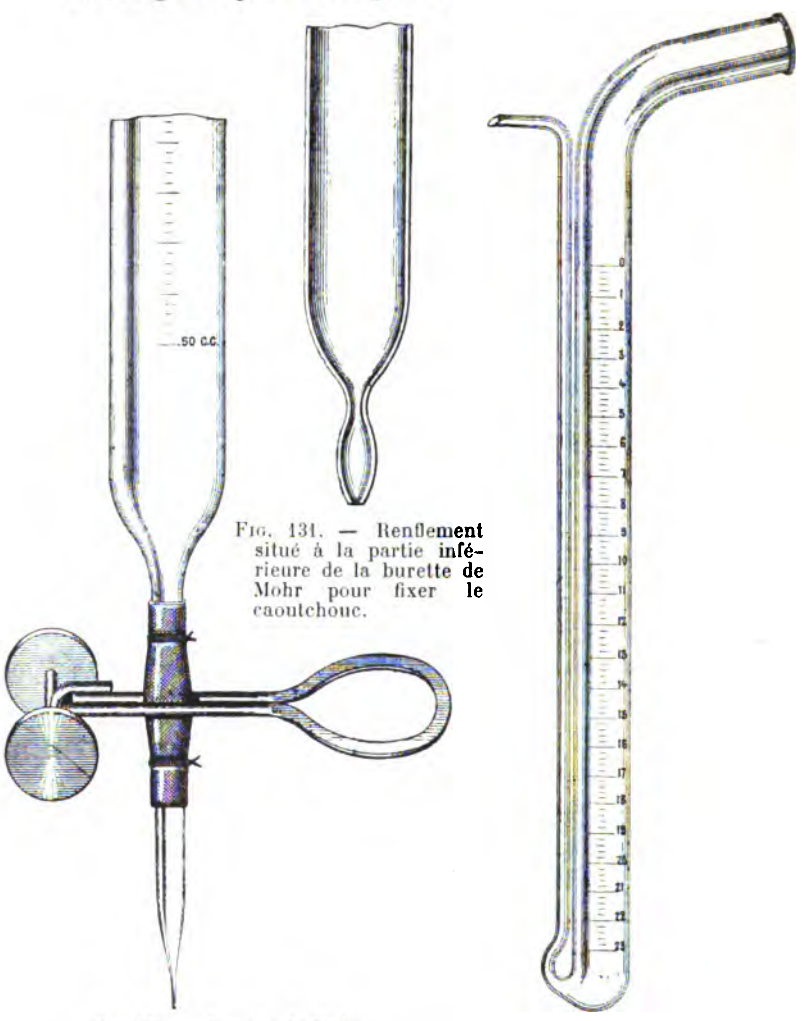


Fig. 131. — Renflement situé à la partie inférieure de la burette de Mohr pour fixer le caoutchouc.

Fig. 130. — Burette de Mohr.

Fig. 132. — Burette de Gay Lussac.

rait à l'aide d'une burette hydrotimétrique, on aura la formule suivante :

$$x = \frac{22}{\frac{230}{24}\varepsilon - 1}\left(\frac{230}{24}\theta - 1\right) - 1;$$

d'où :

$$x = \frac{115\,(220 - \varepsilon) - 252}{115 - \varepsilon - 12}.$$

Supposons qu'au lieu d'employer une liqueur d'épreuve de savon quelconque, on fasse usage d'une liqueur de savon normale, c'est-à-dire d'une liqueur telle que le nombre $\varepsilon = 22°$, la formule précédente se simplifiera.

En désignant par θ' le nombre de centimètres cubes de liqueur normale de savon, nécessaire pour obtenir la mousse persistante avec l'eau à essayer, x' le nombre de degrés hydrométriques correspondant au nombre de centimètres cubes de liqueur normale de savon versée, on aura la formule :

$$x' = \frac{230}{24}\theta' - 1;$$

d'où :

$$x' = 9,5833\,\theta' - 1.$$

CHAPITRE III

DOSAGE DES CORPS EN SOLUTION DANS L'EAU

§ 1. — GAZ

Dosage des gaz dissous dans l'eau. — Ce dosage repose sur l'élimination des gaz, par l'ébullition de l'eau, et l'absorption de l'acide carbonique par la potasse.

On commence par remplir complètement un ballon d'eau à analyser, puis on le ferme par un bouchon, muni d'un tube abducteur dont l'extrémité est recourbée et pénètre dans une cuve à mercure.

Au-dessus de l'extrémité recourbée du tube, et sur le mercure, on dispose une éprouvette graduée.

Après avoir rempli l'éprouvette de mercure, on porte l'eau du ballon à l'ébullition.

Pendant cette opération, une petite quantité d'eau passe dans l'éprouvette; mais on n'a pas à s'en inquiéter.

Peu à peu l'éprouvette se remplit de gaz, et, au bout d'une dizaine de minutes, lorsqu'on ne perçoit plus de dégagement, on arrête l'opération et laisse refroidir le ballon, qui prend la température extérieure; quant à l'eau de l'éprouvette, elle retourne au ballon.

Il est bon de faire bouillir une seconde fois, et même une troisième, pour être certain de bien chasser tous les gaz contenus dans l'eau et de les faire passer dans l'éprouvette graduée.

Les gaz sont alors desséchés, en faisant passer un morceau de coke imprégné d'acide sulfurique; puis on lit le volume V, qui représente le volume total des gaz contenus dans l'eau : oxygène, acide carbonique et azote.

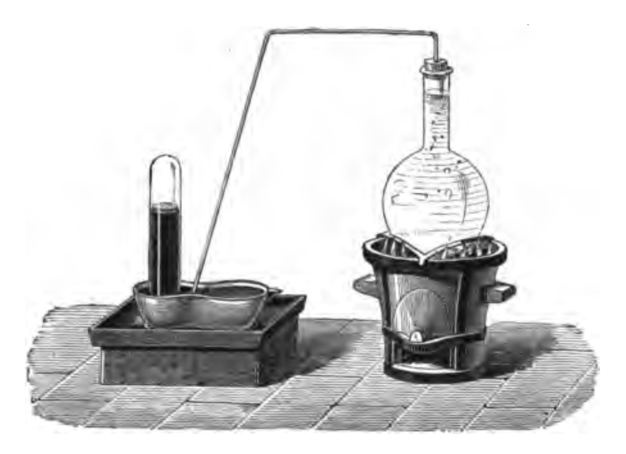


Fig. 133. — Dosage des gaz contenus dans l'eau.

On envoie ensuite une dissolution de potasse dans l'éprouvette graduée, avec une pipette recourbée à son extrémité inférieure, et l'acide carbonique est absorbé :

$$Co^2 + 2KoH = Co^3K^2 + H^2O.$$

Le volume gazeux V′ lu sur l'éprouvette représente l'oxygène et l'azote.

On fait absorber ensuite l'oxygène par de l'acide pyrogallique, et la lecture du volume gazeux V″ restant représente celui de l'azote contenu dans l'eau.

L'oxygène de l'eau est obtenu, en faisant la différence V — V″.

V = volume des gaz contenus dans l'eau.

V″ = volume de l'azote.

V—V″ = volume de l'oxygène.

Ces volumes devaient être ramenés à 0° de température et à la pression 760.

Le volume du ballon et du tube abducteur est mesuré, en les remplissant d'eau, et en versant ensuite leur contenu dans un vase, dont on note l'augmentation de poids.

Dosage de l'oxygène par le procédé de Mohr. — Ce procédé repose sur l'absorption de l'oxygène par une solution de sulfate double de fer et d'ammoniaque, ou sel de Mohr :

$$[So^4FeSo^4(AzH^4)^2\,6H^2O].$$

On prépare : 1° une solution contenant 39^{gr},2 (poids moléculaire) de sulfate double de fer et d'ammoniaque par litre d'eau distillée ;

2° Une solution titrée de permanganate de potassium correspondant, volume à volume, à la solution titrée de sulfate double de fer et d'ammonium.

Cette solution contient 3^{gr},12 de permanganate de potasse, répondant à la formule théorique MnO^4K.

Pour opérer, on prend un flacon fermé par un bouchon de caoutchouc percé de 2 trous, et dans l'un passe un tube abducteur qui amène un courant de gaz carbonique, afin de permettre d'agir à l'abri de l'air.

On introduit ensuite : 100 centimètres cubes d'eau à analyser et 10 centimètres cubes de la solution de sulfate de fer ammoniacal titrée; on ajoute un peu d'une dissolution de potasse caustique pour être sûr d'opérer en solution alcaline.

On agite fortement le flacon ; pour bien mélanger les liquides, il se fait alors un précipité d'oxyde ferreux, puis cet oxyde ferreux est transformé en oxyde ferrique par l'oxygène contenu dans l'eau, et on laisse le tout en contact pendant une dizaine de minutes :

$$2FeO + O = Fe^2O^3.$$

Le précipité d'oxyde de fer formé est ensuite dissous par de l'acide sulfurique ; on procède alors au dosage du fer, qui n'a pas été peroxydé, avec la solution du permanganate de potassium titré.

On remplit une burette graduée avec de la liqueur titrée de permanganate de potassium, et l'on verse le permanganate dans le liquide, jusqu'à ce qu'il prenne une coloration rose.

A partir de ce moment, on note le nombre de centimètres cubes versés.

Si n est ce nombre, il représente la quantité de permanganate de potassium qui a été nécessaire pour peroxyder le fer, qui ne l'avait pas été par l'oxygène contenu dans l'eau.

Or les solutions de permanganate de potasse et de sulfate double de fer et d'ammonium ont été titrées, de telle façon qu'elles se saturent volume à volume, c'est-à-dire qu'un volume de l'une corresponde à un même volume de l'autre, et, par suite, 1 centimètre cube de permanganate de potassium peroxyde 1 centimètre cube de cette solution de sulfate double de fer et d'ammonium.

On a versé, au préalable, 10 centimètres cubes de sulfate, et il faut 10 centimètres cubes de permanganate de potasse pour le peroxyder complètement ; mais, puisqu'on a employé seulement n centimètres cubes, pour obtenir la peroxydation de ce sulfate double de fer, c'est que la différence $10 - n$ aura été peroxydée par l'oxygène de l'eau.

Il s'agit d'évaluer cette peroxydation, pour les $10 - n$ centimètres cubes de sulfate double de fer et d'ammonium, en gaz oxygène.

De plus, la solution de permanganate de potassium a été préparée, de telle façon que 1 centimètre cube de cette solution équivale à $0^{gr},0008$ d'oxygène.

Si l'on désigne par x le poids de l'oxygène cherché contenu dans les 100 centimètres cubes d'eau à analyser, n étant le nombre de centimètres cubes de sulfate double

de fer et d'ammonium introduits dans le ballon, on aura la formule :

$$x = (10 - n)\ 0{,}0008.$$

On peut calculer l'oxygène contenu dans l'eau en volume ; si l'on appelle V le volume d'oxygène, contenu dans 100 centimètres cubes d'eau à analyser, et si l'on observe que 1 centimètre cube de gaz oxygène à 0° et 760 pèse 0,00143, on aura la formule :

$$V = \frac{(10 - n)\ 0{,}0008}{0{,}00143};$$

et par litre :

$$= \frac{(10 - n)\ 0{,}008}{0{,}00143}.$$

§ 2. — ACIDES

Dosage de l'acide carbonique libre et de l'acide carbonique demi-combiné (non à l'état de carbonate simple). — La méthode de Pettenkofer repose sur le titrage par l'acide oxalique d'un excès d'une quantité déterminée de baryum ou de calcium introduite dans l'eau à analyser, pour faire la précipitation de son acide carbonique libre.

Avec une pipette jaugée, on prend une prise d'essai de 100 centimètres cubes qu'on introduit dans un ballon ; on ajoute 3 centimètres cubes d'une solution concentrée de chlorure de calcium ou de baryum et 2 centimètres cubes d'une solution saturée de chlorhydrate d'ammoniaque, et, finalement, 45 centimètres cubes d'une solution de chaux ou baryte ; ce qui fait en tout 150 centimètres cubes.

Le ballon est ensuite fermé par un bouchon, on l'agite et on le laisse reposer 12 heures, l'acide carbonique libre ou à demi combiné est précipité par la chaux, à l'état de carbonate de calcium :

$$Ca(OH)^2 + Co^2 = Co^3Ca + H^2O.$$

Le carbonate de calcium se dépose au fond du bal-

lon; on aspire tout doucement, avec une pipette jaugée, 50 centimètres cubes de liquide clair contenant l'excès de chaux, et on dose cet excès avec une solution d'acide oxalique titré.

La solution d'acide oxalique titré doit contenir 2gr,8636 d'acide oxalique par litre d'eau distillée, et être telle que 1 centimètre cube corresponde à 1 milligramme d'acide carbonique.

Quant à la solution de chaux ou de baryte employée (ici la chaux), elle est titrée, au préalable, sur une prise d'essai de 45 centimètres cubes avec cette solution d'acide oxalique.

Pour procéder au titrage de l'excès de chaux dans le ballon, on commence par faire un essai rapide sur les 50 centimètres cubes du liquide retiré avec la pipette, puis on fait un deuxième essai avec précision sur une nouvelle extraction de 50 centimètres cubes de liquide du ballon.

Si n' est le nombre de centimètres cubes d'acide oxalique trouvé, pour un essai sur 50 centimètres cubes de liquide; pour les 150 centimètres cubes de liquide contenus dans le ballon, le nombre de centimètres cubes d'acide oxalique trouvé serait $3n'$.

Si n est le nombre nécessaire pour neutraliser les 45 centimètres cubes d'eau de chaux dans l'essai préalable de titrage de cette eau de chaux, la différence $n - 3n'$ d'acide oxalique correspondra à la chaux précipitée par l'acide carbonique.

Chaque centimètre cube d'acide oxalique titré correspondant lui-même à 1 milligramme d'acide carbonique; si l'on désigne par x le poids d'acide carbonique contenu dans la prise d'essai de 100 centimètres cubes d'eau (150 centimètres cubes du liquide du ballon), on aura la formule :

$$x = n - 3n,$$

et par litre :

$$X = (n - 3n') 10.$$

Dosage des nitrites. — Le dosage des nitrites peut s'effectuer soit avec le métaphénylène-diamine, soit avec le réactif de Tromsdorff.

A propos de l'analyse qualitative, les réactions produites avec l'acide azoteux ont été indiquées.

D'après l'intensité des colorations obtenues, en jugeant par comparaison avec un échantillon-type connu, on déterminera la proportion de nitrites contenus dans l'eau à analyser.

Pour les deux procédés, on prépare une solution d'un azotite alcalin, telle que : 1 centimètre cube corresponde exactement à 1 centième de milligramme d'anhydride azoteux Az^2O^3, qui est la solution-type.

Cette solution titrée s'obtient en prenant 0gr,406 d'azotite d'argent pur et cristallisé, qu'on dissout dans l'eau distillée; on ajoute ensuite une solution de chlorure de sodium en excès; l'argent se précipite, à l'état de chlorure d'argent; on laisse déposer, et par voie de double décomposition il se forme de l'azotite de sodium :

$$AzO^2Ag + NaCl = AgCl + AzO^2Na.$$

On décante le liquide clair, on l'introduit dans un ballon jaugé à 1 litre, on lave le précipité de chlorure d'argent obtenu, et on ajoute les eaux de lavage dans le ballon.

La solution est complétée à 1 litre avec de l'eau distillée ; on a alors une solution-type d'azotite de potassium, dont 1 centimètre cube correspond exactement à 0gr,0001.

On peut de même obtenir une solution titrée moins forte, en prenant 100 centimètres cubes de cette solution, ainsi obtenue, et en l'étendant à 1 litre avec de l'eau distillée dans un autre ballon jaugé ; la solution obtenue renfermerait alors 0gr,00001 d'acide azoteux Az^2O^3 par litre.

Il est bon de remarquer qu'on pourrait encore préparer une solution-type, en prenant tout simplement l'azotite de potassium et en titrant cette solution par le permanganate

de potassium, qui transforme l'acide azoteux en acide azotique :

$$5Az^2O^3 + 2Mn^2O^7 = 5Az^2O^5 + 4MnO.$$

On verse une solution titrée de permanganate de potassium dans une quantitée connue de la solution d'azotite de potassium; et le terme final a lieu, lorsque la coloration rose du permanganate de potassium persiste :

La solution titrée d'azotite de potassium, dont on détermine le titre, se prépare avec une petite quantité d'azotite de potassium, 0,20 environ, et, une fois son titre connu, on l'étend d'eau distillée, en proportion convenable, afin d'obtenir une solution renfermant $0^{gr},0001$ ou $0^{gr},00001$ d'acide azoteux par litre.

1° *Avec le métaphénylène-diamine.* — Pour faire ces essais, on opère avec des verres dits « colorimétriques », espèces de verres cylindriques permettant d'observer les colorations sous une même épaisseur.

On prend un verre colorimétrique, dans lequel on introduit 50 centimètres cubes d'eau à examiner; on ajoute 1 centimètre cube d'une solution d'acide sulfurique obtenu en faisant un mélange de 1 partie d'acide sulfurique à 66° B. et 5 parties d'eau distillée.

Le liquide est mélangé avec un agitateur en verre; il se produit, sous l'influence de l'acide azoteux contenu dans l'eau, une coloration jaune d'autant plus intense que l'acide azoteux s'y trouve en plus grande quantité.

En même temps on prépare les types avec la solution d'azotite de sodium titré.

A cet effet, on prend plusieurs verres colorimétriques qu'on numérote 1, 2, 3, 4, 5,... ; dans chacun d'eux on ajoute 1 centimètre cube de solution de métaphénilène-diamine, 1 centimètre cube d'acide sulfurique, et enfin 50 centimètres cubes d'eau distillée, dans laquelle on introduit 1, 2, 3, 4, 5, etc., ou 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 centimètre cube de la solution titrée d'azotite de potassium.

On observe toutes les colorations, et on cherche dans les types la coloration correspondante à celle observée pour l'eau à examiner.

Supposons que la coloration du type 4 soit identique à la coloration obtenue avec l'eau à essayer; si le type 4 a été obtenu avec une solution titrée contenant $0^{gr},0001$ d'acide azoteux par centimètre cube, cela prouve que, dans les 50 centimètres cubes d'eau à essayer, il y a 0,0004 d'anhydride azoteux, et par litre :

$$0^{gr},0004 \times 20 = 0^{gr},008 \text{ de } Az^2O^3.$$

En général, si n est le nombre de centimètres cubes de solution d'azotite de potassium versée dans le type correspondant à la coloration observée avec l'eau à analyser, t le nombre représentant le titre en acide azoteux, Az^2O^3 de la liqueur d'azotite de potassium, on a, en désignant par x le poids d'acide azoteux contenu dans 50 centimètres cubes d'eau à essayer :

$$x = t \times n;$$

et par litre :

$$X = t \times n \times 20.$$

2° *Par le réactif de Tromsdorff.* — Le dosage de l'acide azoteux par le réactif de Tromsdorff se conduit d'une façon analogue à celui par le métaphénylène-diamine.

Par cette méthode, on obtient des colorations bleues, par suite de l'action de l'acide azoteux qui provoque la formation de l'iodure d'amidon.

Cette coloration bleue est d'autant plus intense qu'il y a plus d'azotites.

Pour effectuer le dosage, on prend une série de verres colorimétriques ; dans l'un d'eux on introduit 50 centimètres cubes d'eau à analyser, et l'on ajoute 1 centimètre cube d'acide sulfurique à 66° B. et 2 centimètres cubes de réactif de Tromsdorff (pour sa préparation, voir : l'analyse qualitative).

Il se forme une coloration bleue, que l'on compare à celle obtenue avec les types préparés de la façon suivante :

Dans cinq verres colorimétriques, numérotés 1, 2, 3, 4, 5, on introduit, dans chacun d'eux, 1, 2, 3, 4, 5 centimètres cubes d'une solution titrée d'azotite de potassium ou de sodium.

On complète à 50 centimètres cubes avec de l'eau distillée, puis on ajoute dans chacun d'eux 1 centimètre cube d'acide chlorhydrique à 66° B. et 2 centimètres cubes de réactif de Tromsdorff.

On observe les colorations des types et on les compare avec celles de l'eau à essayer.

Supposons que *n* soit le nombre de centimètres cubes d'azotite de potassium contenus dans le type de coloration correspondante à celle de l'essai fait avec l'eau à analyser, si l'on désigne par *t* le titre en acide azoteux de la liqueur titrée d'azotite de potassium, en appelant *x* le poids de l'acide azoteux contenu dans 50 centimètres cubes de l'eau à essayer, on a la formule :

$$x = n \times t,$$

et par litre :

$$X = n \times t \times 20.$$

Azotates. — Le dosage des nitrates peut se faire, en évaporant une prise d'essai de 1 ou 2 litres d'eau avec 1 gramme de soude caustique, jusqu'à ce que le liquide soit réduit à une vingtaine de centimètres cubes, et l'on dose l'acide azotique par le procédé Schlœsing.

Ce procédé repose sur la réduction des azotates en bioxyde d'azote par le protochlorure de fer en solution aqueuse, et en présence de l'acide chlorhydrique ; la réaction est la suivante :

$$6FeCl^2 + 2AzO^3Na + 8HCl = 2NaCl + 4H^2O + 2AzO + 3Fe^2Cl^6.$$

En calculant, d'après les poids moléculaires, on voit que, pour avoir une solution titrée d'azotate de sodium qui dégage,

par 5 centimètres cubes, un poids de 100 grammes de gaz bioxyde d'azote, il faut que cette solution renferme 66 grammes d'azotate de sodium par litre.

On prépare donc une solution titrée, contenant 66 grammes d'azotate de sodium par litre.

Pour faire l'essai, on introduit dans le ballon 40 centimètres cubes d'une solution de sel ferreux, préparé en attaquant 200 grammes de fer par 200 centimètres cubes d'eau acidulée par un excès d'acide chlorhydrique et en complétant ensuite au litre avec de l'eau distillée.

On verse alors dans l'entonnoir 40 centimètres cubes environ d'acide chlorhydrique pur, et on les fait couler dans le ballon.

Après avoir fait bouillir le liquide pendant quelques minutes, pour expulser tout l'air du ballon, on remplit complètement d'eau une éprouvette à gaz et on la place dans la cuve au-dessus du tube de dégagement.

On porte de nouveau le liquide à l'ébullition, et le résidu de l'évaporation de l'eau à analyser est introduit dans l'entonnoir, et on le fait couler par petites portions dans le ballon.

Aussitôt la réaction produite, il y a dégagement de bioxyde d'azote dans l'éprouvette ; on lave l'entonnoir avec 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur, et on laisse couler cet acide dans le ballon, en continuant l'ébullition.

Au bout de quelques instants, tout dégagement gazeux cesse, et le niveau intérieur dans l'éprouvette reste constant.

On enlève cette éprouvette du tube à dégagement, on la place à côté sur la cuve à eau, pour procéder plus tard à des déterminations volumétriques par comparaison.

Un autre essai est fait avec la solution d'azotate de sodium titrée ; pour cela, on remplace l'éprouvette enlevée par une autre éprouvette, graduée et pleine d'eau, qu'on place au-dessus du tube de dégagement, puis on porte la liqueur à l'ébullition.

On introduit dans l'entonnoir 5 centimètres cubes de la solution d'azotate de sodium titré, on les laisse couler peu à peu dans le ballon; la réaction commence, le dégagement gazeux s'effectue, et, finalement, on lave l'entonnoir avec 10 centimètres cubes environ d'acide chlorhydrique.

L'opération se conduit comme la précédente, et on l'arrête lorsqu'il n'y a plus de dégagement gazeux.

L'éprouvette est ensuite portée sur la cuve à eau, à côté

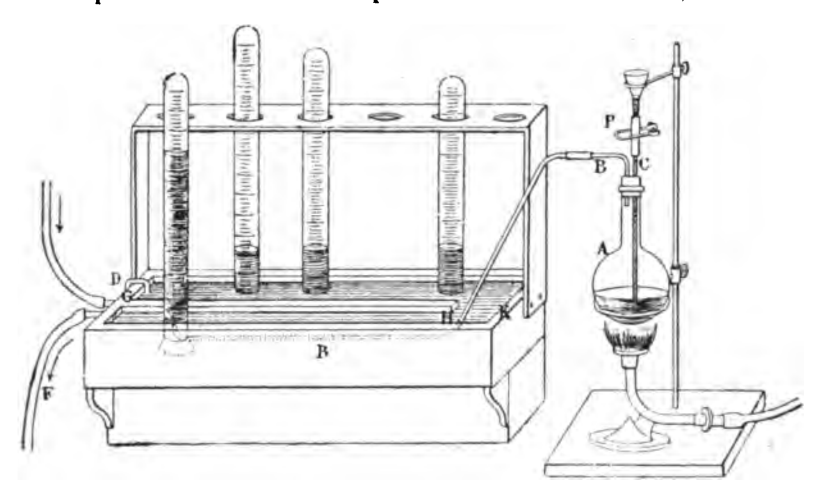


FIG. 134. — Dosage des nitrates par la méthode Schlœsing.

de celle qui avait été enlevée antérieurement, et on compare le volume gazeux de ces deux éprouvettes.

Soit V, le volume du bioxyde d'azote obtenu avec l'eau à analyser ;

V′, le volume de bioxyde d'azote avec la solution titrée.

Or V′ correspond exactement à $0^{gr},33$ d'azotate réel de sodium.

Si l'on appelle x la quantité correspondante d'azotate de sodium contenu dans l'eau à essayer, c'est-à-dire correspondant au volume V de bioxyde d'azote, elle sera donnée par l'équation :

$$\frac{V}{V'} = \frac{x}{0,33};$$

d'où :

$$x = \frac{V \times 0,33}{V'}.$$

D'où l'on peut tirer facilement les valeurs en acide azotique pur (AzO^3H) en multipliant le résultat obtenu par le multiplicateur 0,7411, qui est fourni par le calcul.

La formule devient, en désignant par X le poids d'acide azotique contenu dans 1 litre d'eau à essayer, si p désigne la prise d'essai en litres :

$$X = \frac{V \times 0,33 \times 0,7411}{V' \times p}.$$

Dosage des azotates par la méthode de Tromsdorff. — Cette méthode convient dans la plupart des cas et repose sur la décoloration d'une solution d'indigo titrée par l'acide azotique.

Pour exécuter cette méthode, on prépare deux solutions, l'une d'azotate de potassium et l'autre de sulfate d'indigo.

La solution d'azotate de potassium s'obtient en introduisant $1^{gr},8724$ d'azotate de potassium pur dans 1 litre d'eau, de cette façon on a une solution dont 1 centimètre cube correspond à $0^{gr},001$ d'anhydride azotique par litre.

Pour préparer la solution d'indigo titré, on introduit dans un verre 6 parties d'acide sulfurique fumant, et on ajoute par petites portions, en agitant, une partie d'indigotine pulvérisée.

On laisse reposer un peu, et on verse cette solution dans 240 parties d'eau distillée.

Le liquide obtenu est filtré, puis étendu d'eau ; cette solution est ensuite établie, de telle façon que 6 à 8 centimètres cubes correspondent à $0^{gr},001$ d'acide (anhydride) azotique.

On prend pour cela 5 centimètres cubes de la solution titrée d'azotate de potassium, qu'on introduit dans une capsule de porcelaine ; on ajoute de l'eau distillée et on porte le tout à la température de 110° à 120°.

Pour faire le tirage on verse, au moyen d'une burette graduée, de la solution de sulfate d'indigo ; on s'arrête au moment où le liquide prend une teinte légère vert bleuâtre,

en ayant soin de noter le nombre de centimètres cubes, de solution de sulfate d'indigo, versés.

Un autre essai est pratiqué en opérant de la même façon sur 5 centimètres cubes de solution titrée d'azotate de potassium, en versant d'un seul coup n divisions d'indigo, puis en continuant à faire couler la burette jusqu'à ce que la coloration ait une teinte verte ; on note alors le nombre n' de divisions ; n' correspond donc à 5 centimètres cubes d'azotate de potassium, c'est-à-dire à 0gr,005 d'anhydride azotique Az^2O^5 et 0gr,001 d'anhydride azotique correspond à $\frac{n'}{5}$ de solution de sulfate d'indigo.

D'après ce résultat, on déduit facilement la quantité d'eau à ajouter pour avoir une solution de sulfate d'indigo, telle que 6 à 8 centimètres cubes correspondent à 0gr,001 d'anhydride azotique Az^2O^5, c'est-à-dire à 1 centimètre cube de solution titrée d'azotate de potassium.

Essai. — Pour doser les nitrates, on introduit 25 centimètres cubes d'eau à analyser dans une capsule de porcelaine, on ajoute 25 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré et pur ; le mélange est ensuite porté à la température de 110° à 120°.

On verse rapidement, avec une burette graduée, la solution de sulfate d'indigo, jusqu'à ce que la coloration obtenue soit vert bleuâtre, et on note le nombre de centimètres cubes, δ, de solution versée.

Cet essai est pratiqué sur une nouvelle quantité d'eau de 25 centimètres cubes ; mais δ centimètres cubes de solution de sulfate d'indigo titré sont introduits dans le mélange ; on continue encore à verser cette solution jusqu'à ce que la coloration obtenue soit verte.

On note le nombre δ' de centimètres cubes de sulfate d'indigo versés.

Si la solution titrée de sulfate d'indigo est telle que 1 centimètre cube $= \frac{0^{gr},001}{n}$ d'anhydride azotique Az^2O^5, n étant

le nombre de centimètres cubes de sulfate d'indigo titré correspondant à 0,001 d'anhydride Az^2O^5.

Si, de plus, δ est le nombre de centimètres cubes de solution d'azotate de potassium versés, on a, en appelant x le poids d'anhydride Az^2O^5 contenu dans 25 centimètres cubes d'eau à essayer :

$$x = \frac{0^{gr},001}{n} \times \delta',$$

et par litre d'eau :

$$X = \frac{0^{gr},001}{n} \times \delta' \times 40.$$

Nota. — Avec cette méthode, les résultats obtenus sont trop faibles, lorsque l'eau contient des matières organiques, car ces matières sont facilement oxydables et l'acide azotique agit par conséquent sur elles.

On peut obtenir un dosage plus exact, en commençant d'abord par doser les matières organiques contenues dans l'eau à analyser.

Une fois que la quantité de permanganate de potassium nécessaire pour détruire les matières organiques est connue, on prend 100 centimètres cubes d'eau à analyser, et on ajoute la quantité calculée et nécessaire de permanganate pour détruire ces matières organiques ; on complète ensuite le volume à 150 centimètres cubes.

L'essai se fait comme dans le cas précédent, en prenant une prise d'essai de 25 centimètres cubes de cette eau, ainsi modifiée, étendue à 150 centimètres cubes.

Pour obtenir la proportion d'anhydride azotique contenue dans 25 centimètres cubes d'eau à essayer, il suffit de multiplier par 3/2 le poids d'anhydride azotique obtenu dans la formule précédente.

Dosage des chlorures. — Le dosage du chlore peut se faire soit par la méthode volumétrique, soit par la méthode pondérale.

a) Méthode volumétrique. — Cette méthode repose sur le

principe suivant : Si l'on verse une solution de nitrate d'argent dans une solution de chlorure alcalin, en ajoutant du chromate de potasse comme indicateur, il se forme un précipité de chromate d'argent, qui se redissout dans le chlorure alcalin, jusqu'à ce que tout le chlore ait été précipité à l'état de chlorure d'argent.

Pour faire l'essai, on prend, avec une pipette jaugée, 50 centimètres cubes ou 100 centimètres cubes, ou plus, d'eau, suivant la quantité de chlore plus ou moins grande qui peut être contenue dans cette eau et pour laquelle l'examen qualitatif fournit ce renseignement.

On introduit cette eau dans un vase en verre, et on ajoute 2 ou 3 gouttes d'une solution de chromate neutre de potassium qui sert d'indicateur.

D'autre part, on remplit une burette graduée avec une solution d'azotate d'argent, préparée de telle façon qu'à 1 centimètre cube de cette solution corresponde $0^{gr},001$ de chlore, ce qui revient à faire une solution d'azotate d'argent contenant $4^{gr},79$ d'azotate d'argent fondu par litre d'eau distillée.

On verse goutte à goutte, la solution du nitrate d'argent avec la burette, et l'opération est terminée, lorsqu'après agitation, on voit la couleur rouge apparaître, et persister par suite de la formation du chromate d'argent insoluble :

$$CrO^4K^2 + 2AzO^3Ag = CrO^4Ag^2 + 2AzO^3K.$$

On note alors le nombre de centimètres cubes versés pour obtenir cette réaction.

Soit n ce nombre, si N est le nombre de centimètres cubes de la prise d'essai, le poids x de chlore contenu dans ces N centimètres cubes sera donné par la formule :

$$x = 0,001 \times n,$$

et par litre :

$$X = 0,001 \times n \frac{1000}{N}.$$

b) *Méthode pondérale.* — Cette méthode repose sur ce que, à un poids bien déterminé de chlore, correspond un poids bien déterminé d'argent.

Si, dans une solution de chlorure alcalin, on verse une solution de nitrate d'argent, il se forme un précipité blanc de chlorure d'argent, dont le poids détermine celui du chlore :

$$AzO^3Ag + NaCl = AzO^3Na + AgCl.$$

On prend, avec une pipette jaugée, une prise d'essai de 50 centimètres cubes, 100 centimètres cubes, etc., suivant la proportion de chlore qui y est contenue.

On introduit cette prise d'essai dans un vase à précipiter, puis on l'acidule avec de l'acide azotique; ensuite on ajoute une solution de nitrate d'argent, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité par une nouvelle addition de nitrate.

Le précipité est versé sur un filtre; on le lave, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne précipitent plus par une solution de chlorure de sodium; on le dessèche et on le pèse.

Soit n, le nombre de centimètres cubes d'eau de la prise d'essai; p, le poids du chlorure d'argent trouvé.

Le poids x de chlore, contenu dans ces n centimètres cubes, sera donné par la formule :

$$x = p \times 0{,}2474\,;$$

et par litre :

$$X = \frac{247{,}4\,p}{N}.$$

Dosage des sulfates. — Ce dosage repose sur la précipitation de l'acide sulfurique par le chlorure de baryum, à l'état de sulfate de baryum.

A un poids bien déterminé d'acide sulfurique, correspond un poids bien déterminé de sulfate de baryum.

On prend, avec une pipette jaugée, une prise d'essai de

50 centimètres cubes, 100 centimètres cubes, etc., suivant la proportion d'acide sulfurique qui peut être contenue dans l'eau.

Cette prise d'essai est introduite dans un vase en verre de Bohême; l'eau est acidulée avec de l'acide chlorhydrique et portée à l'ébullition; à ce moment, on verse une dissolution chaude de chlorure de baryum, puis on fait bouillir le tout, pendant un quart d'heure environ, et la précipitation s'effectue convenablement :

$$So^4H^2 + BaCl^2 = So^4Ba + 2HCl.$$

Le précipité de sulfate de baryum formé, difficile à séparer, se dépose parfaitement en opérant de cette façon.

On s'assure qu'une nouvelle addition de chlorure de baryum ne produit plus de précipitation; dans ce cas, on filtre le précipité, on le lave et on le calcine.

Soit n, le nombre de centimètres cubes d'eau de la prise d'essai, et p le poids du sulfate de baryum trouvé; le poids x d'acide sulfurique So^3 contenu dans les n centimètres cubes d'eau sera donné par la formule :

$$x = p \times 0,3433 ;$$

et par litre :

$$X = \frac{3,433\ p}{N}.$$

Nota. — Pour éviter des soubresauts et des projections du liquide à l'extérieur par le manque d'air, à la suite de l'ébullition, il est avantageux d'employer une petite cloche en verre confectionnée en étirant au chalumeau à gaz un tube de verre, vers l'une de ses extrémités, puis en soudant, par le ramollissement du verre, la partie étirée.

En introduisant cette cloche de verre dans le liquide, l'ébullition se fait avec calme, grâce à la réserve d'air qu'elle apporte.

§ 3. — BASES

Dosage de l'azote organique, ou ammoniaque albuminoïde. — Dans les eaux, il existe de l'ammoniaque libre ou combiné, et il peut y avoir de l'ammoniaque qui prenne naissance dans différentes matières organiques contenues dans l'eau.

La méthode de Wanklyn et Chapman, pour doser dans les eaux cet azote organique ou ammoniaque albuminoïde, repose sur sa transformation en ammoniaque par l'ébullition de l'eau en présence d'une solution de permanganate de potassium avec excès d'alcali.

Dans une cornue tubulée, on introduit 500 centimètres cubes d'eau à analyser, on ajoute 15 centimètres cubes d'une solution saturée de carbonate de sodium, on distille le liquide et on arrête l'opération, jusqu'à ce qu'on ait recueilli 200 centimètres cubes de produit distillé. On admet que ces 200 centimètres cubes renferment tout l'ammoniaque libre ou combiné de l'eau.

Les 300 centimètres cubes restant dans la cornue sont traités pour y doser l'ammoniaque albuminoïde.

Dans la cornue, on ajoute 50 centimètres cubes d'une solution de permanganate de potasse alcaline obtenue, en dissolvant 200 grammes de potasse caustique solide et 8 grammes de permanganate de potassium cristallisé dans 1 litre d'eau distillée.

On contiuue la distillation, et dans deux verres colorimétrique on recueille le produit distillé.

Dans le premier verre colorimétrique, on recueille 50 centimètres cubes, et, dans le second, 100 centimètres cubes; on admet que ces 150 centimètres cubes renferment tout l'azote albuminoïde, c'est-à-dire transformable en ammoniaque.

On pourrait, du reste, s'en assurer, en constatant qu'une

nouvelle portion, de 50 centimètres cubes de liquide, recueillie par distillation, renferme moins de 1 centième de milligramme d'ammoniaque.

Les deux portions de liquide, obtenues dans les deux verres colorimétriques, sont ensuite examinées par colorimétrie avec une solution-type de chlorure d'ammonium, renfermant $3^{gr},150$ de ce sel par litre, dont 1 centimètre cube correspond exactement à $0^{gr},001$ d'ammoniaque.

Afin de voir sous des masses de liquide équivalentes, on opère, pour tous les essais, sur 100 centimètres cubes de liquide.

Dans la première portion du liquide recueillie, on ajoute par conséquent 50 centimètres cubes d'eau distillée.

Reste à préparer les types; on prend 5 verres colorimétriques et on ajoute 1, 2, 3, 4, 5 centimètres cubes, etc., dans chacun d'eux, puis on les additionne d'eau distillée, de façon à obtenir 50 centimètres cubes de liquide pour chaque type.

Finalement, dans les 2 verres contenant les produits de la distillation, et dans chacun des 5 types, on ajoute 5 centimètres cubes de réactif de Nessler (Voir l'*Analyse qualitative pour sa préparation*).

On agite le liquide avec une baguette de verre, et on observe les colorations.

Supposons que les colorations correspondantes à la première portion du liquide distillé soient fournies par le type contenant : θ centimètres cubes de solution de chlorure d'ammonium, et pour la deuxième portion, θ' centimètres cubes.

La somme $\theta + \theta'$ représente la totalité du chlorure d'ammonium employé pour fournir ces deux colorations.

Or cette solution de chlorure d'ammonium est telle que 1 centimètre cube correspondent à $0^{gr},0001$ d'ammoniaque; par conséquent, si l'on appelle x le poids d'azote organique ou ammoniaque albuminoïde contenu dans les 150 centimètres cubes du produit distillé, c'est-à-dire dans la prise

d'essai de 500 centimètres cubes d'eau, on aura la formule :

$$x = (\theta + \theta')\ 0^{gr},0001,$$

et par litre :

$$X = (\theta + \theta')\ 0^{gr},0002.$$

Dosage de l'ammoniaque. — 1° *Par le procédé Schlœsing.* — L'ammoniaque, qui se trouve à l'état libre ou combiné dans les eaux, peut se doser par distillation avec l'appareil de Schlœsing.

Cet appareil se compose d'un ballon en verre qui s'adapte à un serpentin se terminant par un tube de verre entouré d'une colonne d'eau froide formant réfrigérant.

Pour faire l'essai, on introduit 50 centimètres cubes d'eau à analyser dans le ballon, on ajoute 3 à 4 grammes de magnésie pure et calcinée, enfin on établit la communication entre le ballon et le serpentin.

Ce ballon est chauffé, et, au bout de quelques instants, l'ammoniaque commence à se dégager de la masse liquide.

Dans un verre à précipiter, on introduit 10 centimètres cubes d'une solution d'acide sulfurique titré, on ajoute de l'eau et on fait plonger l'extrémité du tube de dégagement dans le liquide acide contenu dans le verre à précipiter.

L'ammoniaque neutralise, au fur et à mesure de son dégagement, de l'acide sulfurique, et l'eau est portée à l'ébullition pendant une heure et demie environ.

Faire le dosage de l'ammoniaque contenu dans l'eau revient donc à doser la quantité d'ammoniaque absorbée par l'acide sulfurique.

Pour effectuer cette opération, on introduit comme indicateur quelques gouttes de teinture de tournesol rougie par la présence de l'acide sulfurique en excès dans le verre.

En déterminant la proportion de cet acide sulfurique en excès, c'est-à-dire d'acide non absorbé par l'ammoniaque, on connaîtra par différence la quantité d'acide sulfurique qui a absorbé tout l'ammoniaque et, par suite, la proportion d'ammoniaque de l'eau.

Tout revient donc à faire un titrage d'acide sulfurique.

Ce dosage d'acide sulfurique se fait en employant une liqueur de soude titrée, se saturant ou se neutralisant volume à volume avec la solution d'acide sulfurique titrée employée,

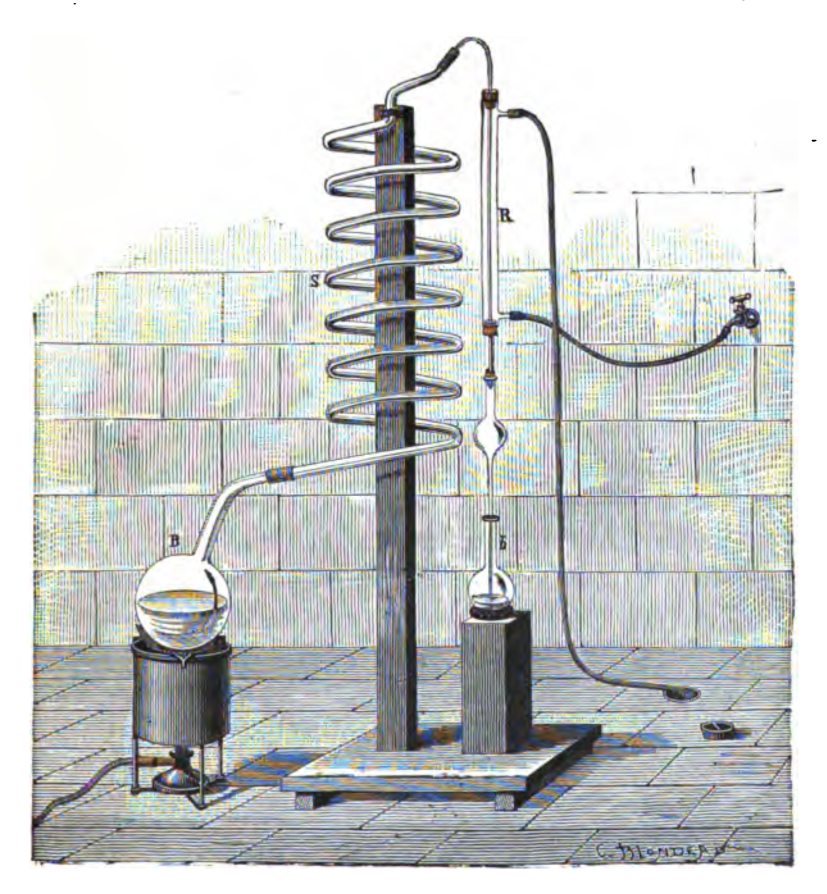


Fig. 135. — Dosage de l'ammoniaque par l'appareil Schlœsing.

de telle façon que 1 centimètre cube de solution de soude corresponde exactement à 1 centimètre cube de solution d'acide sulfurique.

On remplit une burette graduée avec la solution de soude titrée, on verse cette solution goutte à goutte dans

le verre contenant de l'acide sulfurique et l'ammoniaque qui a été recueilli par distillation.

Lorsque la teinture de tournesol bleuit, c'est que la quantité de soude versée est suffisante et qu'elle neutralise complètement l'excès d'acide :

$$SO^4H^2 + 2NaOH = SO^4Na^2 + 2H^2O.$$

On arrête l'opération, on note le nombre δ de centimètres cubes de solution de soude titrée versée ; ce nombre correspond exactement à δ centimètres cubes d'acide sulfurique titré, et, par conséquent, le nombre de centimètres cubes d'acide sulfurique neutralisé par l'ammoniaque est $10 - \delta$:

$$SO^4H^2 + 2AzH^3 = SO^4(AzH^4)^2,$$

Pour obtenir des résultats avec précision, cette solution d'acide sulfurique doit être très faible.

Si 1 centimètre cube de cette solution d'acide sulfurique titré correspond à un poids θ d'ammoniaque, déterminé au préalable, on a, si l'on appelle x le poids d'ammoniaque contenu dans la prise d'essai de 500 centimètres cubes d'eau :

$$x = (10 - \delta)\,\theta,$$

et par litre :

$$X = (10 - \delta)\,2\theta.$$

Méthode colorimétrique par le réactif de Nessler. — Cette méthode repose sur la coloration rouge, qui se produit, avec le réactif de Nessler, d'une façon d'autant plus intense, par l'ammoniaque, que cet alcali se trouve en plus grande quantité.

Par comparaison des colorations avec des solutions établies avec des quantités connues d'ammoniaque, on peut donc déterminer la proportion d'ammoniaque renfermée dans une eau :

Pour cela, on prépare une solution contenant $0^{gr},317$ de

chlorhydrate d'ammoniaque par litre; comme $0^{gr},317$ de sel ammoniac correspond exactement à $0^{gr},10$ d'ammoniaque, 1 centimètre cube de cette solution titrée de chlorure d'ammonium correspondra donc à $0^{gr},0001$ d'ammoniaque.

Le dosage de l'ammoniaque contenu dans les eaux, par le réactif de Nessler, peut s'effectuer sur le produit de la distillation obtenu avec l'appareil de Schlœsing, ou directement sur l'eau à analyser.

Si l'on veut opérer directement sur l'eau, il est préférable de précipiter au préalable les sels de chaux et de magnésie afin d'obtenir une coloration nette avec le réactif de Nessler.

Cette précipitation préalable peut se faire, en ajoutant quelques gouttes de solution de soude caustique et de carbonate de sodium à 30 0/0 dans 100 centimètres cubes d'eau, et filtrant ensuite le précipité. Le dosage se fait sur le liquide filtré, dont on prend une prise d'essai de 50 centimètres cubes qu'on introduit dans un verre colorimétrique. On prépare ensuite les types en introduisant 1, 2, 3, 4, 5 centimètres cubes de solution titrée de chlorure d'ammonium et complétant avec de l'eau distillée, pour avoir, dans chacun des types, une masse de 50 centimètres cubes de liquide.

Dans chacun des verres colorimétriques, contenant l'eau à essayer, ou bien le type, on ajoute 5 centimètres cubes de réactif de Nessler, et les liquides sont agités avec une baguette de verre.

On observe la coloration obtenue. On recheche dans le type la coloration correspondante à celle de l'eau à analyser.

Supposons que cela soit le type qui contient n centimètres cube de solution titrée de chlorure d'ammonium, 1 centimètre cube de cette solution correspondant à $0^{gr},0001$ d'ammoniaque; si l'on appelle x le poids d'ammoniaque contenu dans les 50 centimètres cubes d'eau de la prise d'essai, on a:

$$x = n \times 0,0001,$$

et par litre:

$$X = 0,004\ n.$$

Dosages de la silice, chaux et magnésie. — On introduit, dans une capsule en porcelaine, 500 centimètres cubes d'eau à analyser, et on évapore à sec.

a) Silice. — Le résidu obtenu est repris par de l'acide chlorhydrique, pour dissoudre les sels solubles de calcium et de magnésium, et la silice reste à l'état insoluble.

On étend le tout d'eau distillée, on filtre, et on lave la silice, restée sur le filtre, avec de l'eau acidulée par de l'acide chlorhydrique, puis par de l'eau distillée. Après avoir séché le filtre, on l'incinère dans une capsule tarée, et on pèse. Si p est le poids de la capsule tarée, P celui de la capsule après l'incinération, l'augmentation de poids fournit la silice, et si l'on appelle x ce poids, on a :

$$x = P - p;$$

et par litre d'eau à analyser:

$$X = (P - p)\,2.$$

b) Chaux. — Le liquide filtré renferme la chaux et la magnésie ; pour doser la chaux, on commence par neutraliser l'acide chlorhydrique en excès avec de l'ammoniaque, jusqu'à ce que la liqueur filtrée soit faiblement ammoniacale, et finalement on ajoute de l'oxalate d'ammoniaque, pour déterminer la précipitation des sels de chaux :

$$C^2O^4H^2 + So^4Ca = C^2O^4Ca + So^4H^2.$$

La précipité est ensuite filtré et lavé à l'eau chaude.

On sèche le filtre, et on le calcine dans une capsule tarée ; en faisant la calcination du précipité au rouge sombre ; l'oxalate de calcium se décompose en carbonate de calcium, et le dosage se fait pour le carbonate de calcium :

$$C^2O^4Ca = Co^3Ca + Co.$$

Si p est le poids de la capsule avant la calcination, et P

celui de la capsule après la calcination, le poids x de calcium sera donné par la formule :

$$x = (P - p)\ 0,4001,$$

et par litre :

$$X = (P - p)\ 0,8002.$$

En calcinant fortement l'oxalate de calcium au rouge vif, on obtient non plus du carbonate de calcium, mais de la chaux vive :

$$C^2O^4Ca = CaO + Co^2 + Co.$$

Cette chaux vive, étant très hygroscopique, doit être pesée aussitôt après son refroidissement, afin qu'elle n'absorbe pas d'humidité.

Si p' désigne le poids de la capsule avant la calcination ; P', le poids de la capsule après la calcination ; le poids x' de calcium cherché contenu dans les 500 centimètres cubes d'eau à analyser sera donné par la formule :

$$x' = (P' - p')\ 0,7143,$$

et par litre :

$$X' = (P' - p')\ 2 \times 0,7143.$$

Nota. — Si l'on désire exprimer les résultats en oxyde de calcium CaO, les formules deviennent :

$$x = (P - p)\ 0,5600,$$
$$x' = (P' - p')\ 0,5600,$$

0,5600 étant le multiplicateur de l'oxyde de calcium.

c) Magnésie. — Le liquide filtré ne contient plus que les sels de magnésie ; il est alors évaporé à sec dans une capsule de porcelaine, et le résidu est calciné pour chasser les sels ammoniacaux.

On traite le résidu par de l'acide chlorhydrique ; il est bon d'ajouter un peu de nitrate d'ammoniaque ; de cette façon, le fer et l'alumine que l'eau peut contenir resteront en solution.

La magnésie est dosée à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien ; pour cela, on ajoute de l'ammoniaque en excès et du phosphate de soude.

Après agitation, on laisse déposer douze heures, et le phosphate ammoniaco-magnésien se précipite, d'après la réaction suivante :

$$Po^4Na^3 + So^4Mg + AzH^4Cl = So^4Na^2 + NaCl + Po^4Mg\ (AzH^4).$$

Ce précipité est filtré et lavé à l'eau ammoniacale, puis séché et calciné dans une capsule tarée.

Par cette calcination, le phosphate ammoniaco-magnésien de formule PO^4MgAzH^4 se transforme en un autre phosphate : le pyrophosphate, de formule $P^2O^7Mg^2$, corps bien défini.

Cette transformation a lieu d'après la réaction :

$$2\ [Po^4Mg\ (AzH^4)] = P^2O^7Mg^2 + H^2O + 2AzH^3.$$

Si p est le poids de la capsule avant la calcination, et P celui de la capsule après la calcination, le poids de la magnésie MgO, contenu dans les 500 centimètres cubes d'eau, sera donné par la formule :

$$x = (P - p)\ 0,3602,$$

et par litre :

$$X = (P - p)\ 0,7204.$$

Nota. — L'évaluation de la magnésie en magnésium est donnée par la formule :

$$x = (P - p)\ 0,2161,$$

0,2161 étant le multiplicateur du magnésium.

Dosage de la soude et de la potasse. — Après avoir dosé la chaux et la magnésie, il reste dans la liqueur du phosphate ammoniaco-magnésien ; on filtre, et on lave ce précipité ainsi que le filtre.

Dans le liquide filtré se trouvent les sels de potassium et de sodium, avec une certaine quantité d'acide phosphorique, acide qu'il faut éliminer.

On élimine cet acide phosphorique, soit par précipitation par un sel de plomb, soit par la chaux.

Pour faire cette séparation par la chaux, on commence par concentrer le liquide par évaporation, puis on ajoute du lait de chaux, en quantité suffisante pour précipiter tout l'acide phosphorique, et on laisse déposer quelque temps.

Comme la chaux se trouve naturellement en excès, on procède à son élimination, en ajoutant un peu d'une solution de carbonate et d'oxalate d'ammoniaque.

La chaux se dépose sous forme de précipité qu'on filtre et lave ; les eaux de lavage sont alors recueillies dans une capsule avec le liquide précédemment filtré, puis on évapore à sec.

Dans le résidu évaporé sont contenus des sels solubles de potassium, de sodium et d'ammonium.

Par calcination du résidu dans la capsule de porcelaine, les sels ammoniacaux sont chassés ; le résidu est repris par de l'eau acidulée par de l'acide chlorhydrique ; les sels de potassium et de sodium qui restent dans la capsule sont à l'état de chlorure.

Ce résidu est dissous par cette eau acidulée par l'acide chlorhydrique ; on introduit le liquide obtenu dans un ballon jaugé à 100 centimètres cubes, et on affleure au trait de jauge le niveau avec de l'eau distillée.

Après avoir mélangé convenablement le liquide, on le partage en deux parties égales de 50 centimètres cubes ; dans l'une, on dose la potasse ; dans l'autre, la soude.

a) *Potasse.* — On introduit une portion de 50 centimètres cubes du liquide, ainsi préparé, dans une capsule ; on ajoute du chlorure de platine, et on concentre le liquide par évaporation au bain-marie.

Par l'action du chlorure de platine sur le chlorure de po-

tassium, il se forme un précipité de chloroplatinate de potassium :

$$PtCl^4 + 2KCl = PtCl^4 2KCl.$$

Lorsque le liquide est suffisamment concentré, et que le chlorure de platine est bien en excès, on arrête l'évaporation, et, après complet refroidissement, on ajoute de l'alcool à 80°.

Ce précipité est recueilli sur un filtre taré, lavé à l'alcool à 80°, séché dans une étuve à 100°, et finalement pesé.

Si p est le poids du précipité, en désignant par x le poids du potassium contenu dans les 50 centimètres cubes, ou portion du liquide préparé, c'est-à-dire 500 centimètres cubes d'eau à analyser, on a :

$$x = 0{,}1601p,$$

et par litre :

$$X = 0{,}3202p.$$

b) *Soude.* — La deuxième portion du liquide, soit 50 centimètres cubes, est introduite dans une capsule tarée; on ajoute 2 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur, et on évapore à siccité.

Après cette évaporation, le résidu est légèrement calciné; on obtient un mélange de chlorure de sodium et de chlorure de potassium.

On pèse ce résidu ; si p' est le poids de la capsule taré, P′ le poids de la capsule avec son résidu, la différence :

$$P' - p' = \text{poids du } (NaCl + KCl).$$

Connaissant le poids du potassium contenu dans l'eau, par l'essai précédent, si l'on appelle τ le poids de potassium trouvé dans 50 centimètres cubes du liquide, on peut transformer ce poids de potassium en chlorure de potassium.

En désignant par π le poids de chlorure de potassium trouvé, on a :

$$\pi = \tau \times 1{,}9103,$$

1,9103 étant le multiplicateur calculé pour la transformation du potassium en chlorure de potassium.

Connaissant P'p', le poids de la somme des chlorures de potassium et de sodium, et π le poids de chlorure de potassium, on a, pour le poids x' contenu dans 50 centimètres cubes de liquide, c'est-à-dire 500 centimètres cubes de l'eau à analyser :

$$x' = P' - p' - \pi,$$

et par litre :

$$X' = (P' - p' - \pi) 2.$$

§ 4. — MÉTAUX

Dosage du plomb. — On évapore à sec 1 litre d'eau à analyser, après refroidissement, on ajoute quelques gouttes d'acide azotique, on évapore à sec; le résidu est ensuite calciné pour chasser les matières organiques de l'eau.

On reprend le résidu de la calcination par de l'eau acidulée par de l'acide azotique, on dissout les sels de plomb qui peuvent être contenus dans l'eau, et on effectue le dosage par la colorimétrie au moyen de la réaction caractéristique de l'hydrogène sulfuré :

$$(AzO^3)^2 Pb + H^2S = PbS + 2AzO^3H.$$

Cette méthode a été préconisée par le Dr Smith dans la recherche de l'action des eaux de la Dee et du Don sur les tuyaux de plomb.

Il est évident qu'on peut remp'acer l'hydrogène sulfuré par du sulfhydrate d'ammoniaque.

Pour opérer on introduit, dans un verre colorimétrique, le résidu calciné repris par de l'eau acidulée par de l'acide azotique.

On complète le volume à 50 centimètres cubes, puis on prépare les types, en introduisant 1, 2, 3, 4, 5 centimètres cubes d'une solution d'azotate de plomb titrée, telle que

1 centimètre cube corresponde à $0^{gr},0001$ de plomb métallique.

On verse 1 centimètre cube de la solution d'hydrogène sulfuré ou 2 ou 3 gouttes de sulfhydrate d'ammoniaque.

Après avoir observé les colorations, on compare la coloration de l'essai avec celle des types, et on note la coïncidence des teintes.

Supposons que l'eau à essayer ait une teinte qui corresponde au type renfermant $0^{gr},0001$ de plomb, on aura, si x désigne le poids du plomb contenu dans la prise d'essai, c'est-à-dire dans 1 litre d'eau à examiner :

$$x = 0^{gr},00015.$$

Dosage du cuivre. — Le cuivre peut se doser par la méthode colorimétrique, qui permet d'apprécier des quantités excessivement faibles.

Pour opérer, on évapore à sec 250 ou 500 centimètres cubes d'eau à essayer, on reprend par de l'eau acidulée par quelques gouttes d'acide azotique, et on filtre.

Le liquide filtré est recueilli dans un verre colorimétrique et jaugé à 50 centimètres cubes par une addition d'eau distillée ; puis on ajoute 2 centimètres cubes d'ammoniaque.

Par cette addition d'ammoniaque, il se produit une couleur bleue d'autant plus intense que l'eau à analyser contient plus de cuivre.

Pour déterminer cette teneur métallique, on compare la coloration obtenue avec celles fournies par une série de types, de teneur connue.

Ces types se préparent, en introduisant, dans chacun des verres colorimétriques, 1, 2, 3, 4 et 5 centimètres cubes d'une solution titrée renfermant 0,0001 d'azotate de cuivre, complétant leur volume à 50 centimètres cubes avec de l'eau distillée, et ajoutant 2 centimètres cubes d'ammoniaque.

Si p est la prise d'essai d'eau évaporée à sec, q, le poids du

cuivre correspondant au type de même coloration que l'eau à examiner, et X, le poids de cuivre par litre d'eau, on aura :

$$X = \frac{1.000\,q}{p}.$$

Dosage du fer. — Le fer peut être dosé par la méthode pondérale, évaporation à sec, avec quelques gouttes d'acide azotique, reprise par de l'eau acidulée avec de l'acide chlorhydrique, et précipitation du fer à l'état de sesquioxyde de fer par de l'ammoniaque qui détermine, d'après son poids, la quantité de fer cherchée.

La méthode colorimétrique permet d'opérer plus vite et d'apprécier de faibles quantités.

Pour cela, on évapore à sec une quantité d'eau à essayer avec de l'acide azotique ; on reprend par de l'eau acidulée par de l'acide azotique, et on l'introduit dans un verre colorimétrique qu'on jauge à 50 centimètres cubes.

On prépare les types comme pour le dosage du cuivre dans les verres colorimétriques avec une solution titrée d'azotate de fer à 0,0001, en introduisant dans chacun d'eux 1, 2, 3, 4, 5 centimètres cubes ; on jauge à 50 centimètres cubes avec de l'eau distillée ; puis on ajoute 2 centimètres cubes d'une solution de sulfocyanure d'ammonium à 10 0/0 dans chaque verre colorimétrique.

Il se produit des colorations rouges, d'autant plus intenses qu'il y a plus de fer ; on cherche la coïncidence des teintes entre le type et l'eau à essayer.

Si ce type est celui qui contient le poids q de fer ; si, de plus, p est la prise d'essai d'eau à examiner, en désignant par X le poids du fer par litre d'eau, on aura :

$$X = \frac{1000\,q}{p}.$$

§ 5. — DOSAGE DES MATIÈRES ORGANIQUES

Le dosage des matières organiques par le permanganate de potassium repose sur sa propriété d'être réduit par les matières organiques ; il en résulte une décoloration, et d'après la quantité de permanganate nécessaire pour obtenir sa coloration rose avec l'eau à essayer, on en déduit la quantité de matières organiques.

On ne peut obtenir que des résultats approximatifs, les matières organiques agissant très inégalement sur le permanganate; qui peut être aussi l'objet de réactions de la part de produits d'origines tout à fait différentes.

Les nitrites, par exemple, réduisent le permanganate de potassium ; cette action peut avoir lieu souvent, étant donné que ces composés azotés se trouvent fréquemment dans les eaux.

Par contre, l'urée et des composés analogues sont sans action réductrice sur le permanganate :

En général, les indications obtenues par ce procédé sont trop faibles.

Pour doser les matières organiques, on prépare d'abord une solution de permanganate titrée.

Préparation des liqueurs. — La solution de permanganate de potassium doit être telle que 1 centimètre cube équivaut à $0^{gr},0001$ d'oxygène ou $0^{gr},000788$ d'acide oxalique.

Cette solution se prépare avec la solution décime employée dans les laboratoires, qui contient exactement $3^{gr},162$ de permanganate de potassium par litre; 1 centimètre cube équivaut à $0^{gr},0008$ d'oxygène ou $0^{gr},0063$ d'acide oxalique.

On prend 125 centimètres cubes de cette solution décime ; on la complète avec de l'eau distillée pour obtenir 1 litre de liquide, c'est ainsi que se prépare la solution proposée.

La solution de permanganate de potassium décime peut se titrer comme nous l'avons indiqué, à propos du dosage de l'oxygène, par le procédé de Mohr.

En opérant ainsi, on se sert, pour le titrage, d'une solution contenant exactement 39^{gr},2 de sulfate double de fer ou d'ammonium, ou sel de Mohr, par litre.

Ce titrage peut encore se faire avec le fil de clavecin, en tenant compte que 100 de fil de clavecin correspondant à 99,7 de fer pur environ, et que 0^{gr},056 de fer pur correspond à 0^{gr},008 d'oxygène, c'est-à-dire à 1 centimètre cube d'acide oxalique normal, ou 0^{gr},063 d'acide oxalique réel.

Par la quantité de fer nécessaire à la réduction du permanganate de potassium, on en déduit son titre, qui, une fois connu, permet de préparer la solution proposée.

Avec cette solution de permanganate de potassium, on prépare une autre solution d'acide oxalique, qui la sature volume à volume, et telle que 1 centimètre cube de solution d'acide oxalique corresponde exactement à 1 centimètre cube de solution de permanganate de potassium titré.

Pour cela, on ajoute à 1 litre d'eau distillée 0,788 d'acide oxalique pur; cette solution ainsi préparée doit se saturer volume à volume avec la solution de permanganate de potassium titrée ; s'il n'en est pas ainsi, on calcule la quantité obtenue à ajouter pour l'y amener.

Dosage. — On introduit 200 centimètres cubes d'eau à analyser dans un ballon, on ajoute 5 centimètres cubes de soude caustique pure à 10 °/₀ et 10 centimètres cubes de la solution de permanganate de potassium.

Après avoir porté le tout à l'ébullition pendant une dizaine de minutes, on laisse refroidir le liquide à 50°, et on ajoute 5 centimètres cubes d'une solution d'acide sulfurique ; cette solution s'obtient, en ajoutant, à 1 partie d'eau 1 partie d'acide sulfurique concentrée; enfin on introduit 10 centimètres cubes de la solution d'acide oxalique titrée, dont 1 centimètre cube correspond à 1 centimètre cube de la solution de permanganate de potassium.

Les matières organiques contenues dans l'eau exerçant, comme l'acide oxalique, leur action réductrice, le permanganate de potassium versé se décolore, et l'on se trouve en

présence d'un excès d'acide oxalique qu'il s'agit de déterminer.

On dose cet excès d'acide oxalique, en versant, à l'aide d'une burette graduée, de la solution de permanganate de potassium titrée.

On note le nombre de centimètres cubes versés qui correspond à l'excès d'acide oxalique, excès résultant de l'action réductrice exercée par les matières organiques de l'eau sur les 10 centimètres cubes de solution de permanganate de potassium primitivement versés.

Si n est le nombre de centimètres cubes de permanganate de potassium nécessaire, pour obtenir la coloration rose, ce nombre n correspondra à n centimètres cubes d'acide oxalique, c'est-à-dire à $n \times 0^{gr},000788$ d'acide oxalique.

On indique souvent les résultats de dosages des matières organiques en acide oxalique.

Quelquefois on exprime les résultats en matières organiques elles-mêmes, en admettant que le poids du permanganate trouvé par l'essai est cinq fois plus grand que celui des matières organiques contenus dans l'eau à analyser.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

L'EAU

CHAPITRE I

CHAPITRE II

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

CHAPITRE V

CHAPITRE VI

CHAPITRE VII

CHAPITRE VIII

CHAPITRE IX

CHAPITRE X

CHAPITRE XI

CHAPITRE XII

CHAPITRE XIII

CHAPITRE XIV

TROISIÈME PARTIE

Pages.

CHAPITRE I

CHAPITRE II

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

CHAPITRE V

QUATRIÈME PARTIE

LES EAUX RÉSIDUAIRES ET LEUR ÉPURATION

CHAPITRE I

CHAPITRE II

Pages.

CINQUIÈME PARTIE

ANALYSE

CHAPITRE I

CHAPITRE II

CHAPITRE III

Tours. — Imprimerie Deslis Frères, 6, rue Gambetta.

Tours, Imp. DESLIS FRÈRES.

